

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أمحمد بوقرة بومرداس
Université M'hamed Bougara de Boumerdès



Faculté des Sciences - Département de Chimie

Domaine : Science de la matière

Filière : Chimie

Spécialité : chimie de l'environnement

Mémoire de projet de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Présenté et soutenue par

M^r : Benali Ahmed Cherif

M^r : Mebrek Rabah

(Licenciées en Chimie Analytique)

9 septembre 2021

Thème :

***Caractérisation d'un déchet animal et application à
l'élimination d'un colorant par adsorption***

BOUDIEB Naima	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Président
ATEK Dalila	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Promoteur
IRINISLIMANE Hassiba	Maitre de conférences B	FS-UMBB	Examineur

L REMERCIEMENT

a présente étude a été réalisée au niveau du laboratoire de la pédagogie du département de chimie à la faculté de science sous la direction de Mme ATEK DALILA.

On tient avant tout à remercier Dieu tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté pour achever ce modeste travail.

Nos remerciements vont également à Madame **ATEK Dalila** d'avoir accepté de nous encadrer, pour son aide, son encouragement et son soutien tout au long de la réalisation de ce travail, et aussi pour sa grande patience ainsi pour le temps précieux et sans elle ce mémoire n'aurait jamais vu le jour

Nos vifs remerciements sont destinés également à **Mme, BOUDIEB Naima** qui a fait le privilège de présider notre jury.

Nous tenons à remercier **Mme IRNISLIMANE Hassiba** d'avoir accepté de faire partie de notre jury.

Je remercie également les doctorants du CRND, pour leur aide très précieuse qui grâce eux ont eu accès aux différents instruments **Mr M. Belaloui K. Oukil, R. Nouri, D. Imatoukken**

On remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier le personnel du CRND et celui de l'ONA et sans oublier la contribution précieuse des techniciens du laboratoire de L'UMBB

A la fin nous tenons à remercier également tous les enseignants et le personnel techniques et administratif de l'UMBB et en particulier ceux du Département de chimie et tous les étudiants de la promotion

Dédicace

À ma source d'inspiration, de force et de courage

Mon chère grand père Benali Salem et mon père Benali Fouad

À cette source de tendresse, de patience et de générosité,

À ma mère

Mon petit frère, ma petite sœur

Et à toutes ma famille sans exception

Qui ne cessent de me soutenir dans Tous les domaines de la vie

Mes amis qui ont été à mes coté durant toutes la période de stage

Rabah, Hcene, Fasser

À M. Nait Mohammed

À Mr. Nars

À tous mes amis et collègues

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Ahmed.....

Dédicace

A la mémoire de mon défunt père.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre,

À ma mère !

A tous mes grands frères et sœurs mes sources de courage et d'inspiration

A ma belle famille

Mille fois merci.

Mes amis qui m'ont soutenu et accompagné durant cette période

Ahmed, Hcene, Fasser

A tous mes amis que j'ai rencontré toute ma vie

A Mr Bouhali Daifallah

À tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Rabah...

Liste d'abréviations et symboles

L'ONU	L'Organisation des Nations Unies
MES	Matière en suspension
NTU	Unité nationale de turbidité
DCO	Demande chimique en oxygène
DBO₅	Demande Biochimique en Oxygène pendant 5 jours
COT	Carbone total organique
°Th	Taux Hydrotimétrique
GES	Gaz à effet de serre
CAG	Charbon actif granulaire
CAP	Charbon actif en poudre
Mqt	Millions de quintaux
L'ONAB	Office National des Aliments du Bétail
BM	Bleu de méthylène.
ORAC	Office Régional Avicole Centre
OAC	Œufs à couvrir
CRND	Centre de recherche nucléaire draria
DAL	Déchet avicole Lavé
DAB	Déchet avicole Brut
DAM	Déchet avicole mélanger
K1	Constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo-premier ordre.
K2	Constante de vitesse du modèle cinétique du pseudo-second ordre.
K, n	Constantes de Freundlich.

q_e	Quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre (mg/g).
q_t	Quantité adsorbée par unité de masse d'adsorbant à l'instant t
ΔG°	Enthalpie libre standard.
ΔH°	Enthalpie standard.
ΔS°	Entropie standard.
C₀	Concentration initiale du soluté.
C_e	: Concentration résiduelle du soluté à l'équilibre.
C_t	Concentration résiduelle du soluté à l'instant t
T	Température absolue (K).
t	Temps de contact (minute).
IR	Infrarouge
IRTF	Infrarouge a Transformé de Fourier
MEB	Microscope électronique à balayage
EDX	La spectrométrie à dispersion d'énergie
FX	Analyse par fluorescence des rayons X
BET	Brunauer-Emett-Teller
UV	Ultra-Violet
ppm	Partie par million
CET	Centre d'enfouissement technique

Liste de Figures

Partie Théorique	
Figure 1.1 : Structure chimique du bleu de méthylène	16
Figure 2.1 : Organigramme donnant les différents types de déchets	24
Figure 3.1 : Mécanisme du transport d'un adsorbat au sein d'un grain du solide	35
Figure 3.2 : Les différents types d'isotherme d'adsorption	37
Partie Expérimentale	
Figure 1.1 : Carte géographique du dite de Corso / Google Earth	49
Figure 1.2 : Aperçu de disposition des bâtiments	50
Figure 1.3 : L'intérieur de chaque bâtiment	51
Figure 1.4 : Approvisionnement du silo en aliment	51
Figure 1.5 : Autoclave	52
Figure 1.6 : Le tas de déjection sèches	53
Figure 1.7 : Le tas de déjection fraîche	53
Figure 2.1 : Diagramme représentatif des différentes étapes de préparation de l'adsorbant	57
Figure 2.2 : Dispositif expérimental L'ensemble de l'adsorbant et la solution de BM	59
Figure 3.1 : Les spectres d'analyse par infrarouges des différents adsorbants des matériaux.....	66
Figure 3.2 : Les spectres d'analyse par infrarouges bleu de méthylène	67
Figure 3.3 : Les spectres d'analyse par infrarouges déchet avicole brut avec le bleu de méthylène.....	68
Figure 3.4 : Les spectres d'analyse par infrarouges déchet avicole lavé avec le bleu de méthylène.....	68
Figure 3.5 : Microscopie électronique à balayage de la poudre des adsorbants utilisés	71
Figure 3.6 : Microscopie électronique à balayage de la poudre du déchet lavé avant et après adsorption	72
Figure 3.7 : Microscopie électronique à balayage de la poudre du déchet brut avant et après adsorption	73

Figure 3.8 : Spectres d'analyses par EDX pour l'échantillon déchet lavé après adsorption	74
Figure 3.9 : Spectres d'analyses par EDX pour l'échantillon déchet brut	74
Figure 3.10 : Spectres d'analyses par EDX pour l'échantillon déchet lavé	75
Figure 3.11 : Spectres d'analyses par EDX pour l'échantillon déchet brut après adsorption	75
Figure 3.12 : Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut	78
Figure 3.13 : Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé	78
Figure 3.14 : Effet de la masse sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé	79
Figure 3.15 : Effet de la masse sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut	79
Figure 3.16 : Effet de la concentration sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé	80
Figure 3.17 : Effet de la concentration sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut	81
Figure 3.18 : Effet du volume de l'adsorbat en solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé	82
Figure 3.19 : Effet du volume de l'adsorbat en solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut	82
Figure 3.20 : Effet du pH de la solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé	83
Figure 3.21 : Influence du mélange (sciure/DAL) sur la Cinétique d'adsorption du BM	84
Figure 3.22 : Influence du mélange (sciure/DAB) sur la Cinétique d'adsorption du BM	84
Figure 3.23 : Modèle cinétique du pseudo première ordre du Déchet Avicole Brut (DAB)	85
Figure 3.24 : Modèle cinétique du pseudo première ordre du Déchet Avicole Lavé (DAL)	86
Figure 3.25 : Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre du Déchet Avicole Brut (DAB)	86
Figure 3.26 : Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre du Déchet Avicole Lavé (DAL)	87
Figure 3.27 : Modèle cinétique de la diffusion intra-articulaire sur Déchet Avicole Brut (DAB)	87

Figure 3.28 : Modèle cinétique de la diffusion intra-articulaire sur Déchet Avicole Lavé (DAL).....	88
Figure 3.29 : Isotherme d'adsorption du BM par le DAB	89
Figure 3.30 : Isotherme d'adsorption du BM par le DAL	90
Figure 3.31 : Forme linéaire du modèle de Langmuir du bleu méthylène BM sur le DAB .	91
Figure 3.32 : Forme linéaire du modèle de Langmuir du bleu méthylène BM sur le DAL ..	91
Figure 3.33 : Forme linéaire du modèle de Freundlich du bleu méthylène BM sur le DAB	92
Figure 3.34 : Forme linéaire du modèle de Freundlich du bleu méthylène BM sur le DAL.	92
Figure 3.35 : Forme linéaire du modèle de Timkin du bleu méthylène BM sur le DAB	93
Figure 3.36 : Forme linéaire du modèle de Timkin du bleu méthylène BM sur le DAL	93
Figure 3.37 : Forme linéaire de la thermodynamique d'adsorption du DAB	95
Figure 3.38 : Forme linéaire de la thermodynamique d'adsorption du DAL	95

Liste de Tableaux

Partie Théorique	
Tableau 1.1 : Type et origine d'eau usées	7
Tableau 1.2 : Définition des types de pollution	8
Tableau 1.3 : Qualité d'eau selon la valeur de la turbidité	9
Tableau 1.4 : Norme Algériennes des rejets industriels	13
Tableau 1.5 : Longueur d'onde absorbée et couleur du colorant observée	14
Tableau 1.6 : Principaux groupements chromophores et auxochromes, classée par intensité décroissante	15
Tableau 2.1 : Composition des effluents avicoles0.....	27
Tableau 3.1 : Comparaison des propriétés entre les types d'adsorption	35
Partie Expérimental	
Tableau 2.1 : Produits utilisés pour l'étude d'adsorption du BM sur le déchet avicole	55
Tableau 2.2 : Matériel utilisé lors de la caractérisation de l'adsorbant	56
Tableau 2.3 : Matériel utilisé lors de l'étude d'adsorption du BM sur le déchet	56

Tableau 2.4 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation de la concentration)	60
Tableau 2.5 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation de la masse)	61
Tableau 2.6 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation du volume)	62
Tableau 2.7 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation du ph)	62
Tableau 3.1 : Résultats de la BET	65
Tableau 3.2 : Les bandes caractéristiques des adsorbants utilisés déterminées par IRTF...	67
Tableau 3.3 : Analyse chimique du matériau par Fluorescence	70
Tableau 3.4 : Composition élémentaire des matériaux avant et après essais d'adsorption .	76
Tableau 3.5 : Les équations des modèles cinétiques appliquées dans cette étude cinétique (85)	
Tableau 3.6 : Les constantes des modèles appliquées dans l'étude cinétique	88
Tableau 3.7 : Les modèles de Langmuir, Freundlich et Timkin appliquées dans cette étude	89
Tableau 3.8 : Paramètres des différents modèles mathématiques de l'adsorption	93
Tableau 3.9 : Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre.	94
Tableau 3.10 : Les paramètres thermodynamique expérimentaux de l'adsorption du bleu de méthylène sur le déchet avicole (brut et lavé)	96
Tableau 3.11 : Résultats de la DCO du traitement du lixiviat par adsorption sur déchet avicole brut	96

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Liste d'abréviations et Symboles	
Liste des figures	
Liste des Tableaux	
Sommaire	
Introduction Générale	1
Bibliographie	3
Partie Théorique	
Chapitre 1 : Généralités sur les eaux usées pollution par les colorants	
1.1 Introduction	6
1.2 Définition des eaux usées	6
1.3 Origine des eaux usées	7
1.4 Types de pollution des eaux industriels	8
1.5 Les paramètres caractérisant la pollution des eaux usées	9
1.5.1 Paramètres physiques	9
1.5.1.1 La turbidité	9
1.5.1.2 Odeur	9
1.5.1.3 Couleur	9
1.5.1.4 Le pH	9
1.5.1.5 Température	10
1.5.1.6 Conductivité électrique	10
1.5.1.6 Matières en suspension	10
1.5.2 Paramètres chimiques	10

1.5.2.1 Demande chimique en oxygène (DCO)	10
1.5.2.2 Demande chimique en oxygène (DBO ₅)	10
1.5.2.3 Carbone total organique COT	10
1.5.3 Paramètre de toxicité	11
1.5.3.1 Les micropolluants	11
1.5.3.1.1 Les micropolluants organiques	11
1.5.3.1.2 les paramètres biologiques	11
1.5.3.1.3 Les micropolluants inorganiques (minéraux)	11
1.6 Biodégradabilité des effluents industriels	12
1.7 Pollutions par les colorants	14
1.7.2 Classification des colorants	15
1.7.2.1 Classification chimique	15
1.7.2.2 Classification tinctoriale	15
1.8 Bleu de méthylène	16
1.9 PROPRIETES	16
1.10 Utilisation du bleu de méthylène.....	17
1.11 Toxicité du bleu de méthylène	17
1.12 Bibliographie	19
Chapitre 2 : Généralités sur les déchets avicoles	
2.1 Introduction	23
2.2 Définition d'un déchet avicole	23
2.3 Catégorisation des déchets en Algérie	24
2.3.1 Catégorisation des déchets suivant leur origine	24
2.3.1.1 Les déchets ménagers	24
2.3.1.2 Les déchets de marchés	25
2.3.1.3 Les déchets hospitaliers	25
2.3.1.4 Les déchets solides industriels	25
2.4 Classement des déjections avicoles	25
2.4.1 Déjections liquides	25

2.4.1.1 Les lisiers.....	25
2.4.1.2 Les urines	25
2.4.1.3 Les jus d'ensilage	26
2.4.1.4 Les purins	26
2.4.2 Déjections pâteuses à sèches	26
2.4.3 Elimination gazeuses	26
2.5 Composition moyenne chimique des déchets avicoles	26
2.6 Facteurs de variation de la composition des déjections avicoles	27
2.7 Impact des déchets d'élevage sur l'environnement et la santé.....	27
2.7.1 Impacts sur l'environnement	28
2.7.2 Impacts sur la santé	29
2.8 Procédés de traitement des déjections avicoles	29
2.8.1 La méthanisation	29
2.8.2 Compostage	29
2.8.3 Le vermicompostage (lombricompostage)	29
2.8.4 L'épandage du fumier	30
2.9 Bibliographie	31
Chapitre 3 : Phénomène d'adsorption application au traitement des eaux usées	
3.1 Introduction	34
3.2 Généralités sur l'adsorption	34
3.3 Les différents types d'adsorption	34
3.3.1 L'adsorption chimique : (Chimisorption)	34
3.3.2 L'adsorption physique : (Physisorption)	34
3.4 Principe de l'adsorption	35
3.5 Les isothermes d'adsorption	36
3.5.1 Les différents types d'isotherme	36
3.5.2 Modélisation des isothermes d'adsorption	37
3.5.3 Cinétique d'adsorption	39
3.6 Facteur influençant l'adsorption	40

3.7 Différents types d'adsorbant	(41)
3.8 Application de l'adsorption	(43)
3.8.1 Application au traitement des eaux.....	(43)
3.9 Bibliographie	(45)
Partie Expérimental	
Chapitre 1 : Présentation du site du prélèvement	
1.1 Présentation du site de l'expérimentation	49
1.2 Objectif	52
1.3 Echantillonnage pour la caractérisation des déjections	53
Chapitre 2 : MATERIEL – METHODOLOGIE	
2.1 Introduction	55
2.2 Produits et matériel utilisés	55
2.2.1 Produits utilisés	55
2.2.2 Instruments utilisés	55
2.3 Méthodologie	57
2.4 Caractérisation du déchet avicole	57
2.5 Essais d'adsorption du BM sur les différents matériaux utilisés	59
Chapitre 3 : Résultats et discussions	
3.1 Caractérisation avant et après adsorption	65
3.1.1 Caractéristiques de l'adsorbant utilisé	65
3.1.2 Analyses physico-chimiques	65
3.1.2.1 Taux d'humidité	65
3.1.2.2 Taux de cendre	65
3.1.3 Détermination de la surface spécifique par la méthode BET	65
3.1.4 La spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)	66
3.1.5 Analyse par fluorescence des rayons X (FX)	70
3.1.6 Morphologie par Microscope électronique à balayage (MEB)	71
3.1.7 Composition atomique (EDX)	74

3.2 Optimisations	77
3.2.1 ESSAIS D'ADSORPTION	77
3.2.1.1 Préparation des solutions mères de bleu de méthylène (BM)	77
3.2.1.2 Préparation des solutions diluées	77
3.2.2 Cinétique d'adsorption	77
3.2.2.1 Temps d'équilibre	77
3.2.2.2 Paramètres influençant l'équilibre d'adsorption	79
3.3 DETERMINATION DE L'ORDRE CINETIQUE	84
3.3.1 PSEUDO PREMIER ORDRE	85
3.3.2 MODELE DE LA CINETIQUE DE PSEUDO-SECOND ORDRE	86
3.3.3 DIFFUSION INTRA-PARTICULAIRE	87
3.4 ÉQUILIBRE D'ADSORPTION DU BM SUR LES DECHETS AVICOLES	88
3.4.1 ISOTHERME D'ADSORPTION	89
3.4.2 MODELISATION MATHEMATIQUE	90
3.5 THERMODYNAMIQUES D'ADSORPTION	94
3.6 Application au traitement des lixiviats	96
3.7 Conclusion	97
3.8 Bibliographie	98

INTRODUCTION

GENERAL

Introduction générale

« L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel. »

Directive Cadre européenne sur l'Eau, 2000[1]

La plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux usées. Étant donné que la demande d'eau dans son ensemble augmente, la quantité d'eaux usées produites, et leur charge polluante globale, sont en augmentation constante dans le monde entier.

L'eau a une valeur incontestable, qu'elle soit utilisée pour la consommation humaine, l'agriculture, les loisirs, le transport ou la production d'énergie. Et joue un rôle crucial dans le développement économique et social. De plus, elle est un élément classé comme étant une source de vie et est depuis toujours une richesse irremplaçable.[2]

Ainsi, La gestion durable des eaux usées et eaux pluviales constitue un défi mondial pour le XXIème siècle. Une telle gestion nécessite de s'appuyer sur une vision globale des enjeux du système de gestion des eaux usées. [3]

Les cinq principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, les transports et l'urbanisation.

Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel. L'analyse de ces eaux résiduaires permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration.

De ce fait, plusieurs procédés biologiques, physiques et chimiques sont utilisés pour le traitement des effluents industriels dont la biodégradation, la filtration sur membranes et l'oxydation. Cependant, beaucoup de ces technologies sont coûteuses, surtout lorsqu'elles sont appliquées pour les effluents à haut débit.

Dans l'optique de traitement des eaux industrielles, l'adsorption s'est révélée une méthode très efficace pour la réduction et l'adsorption des polluants organiques en l'occurrence les colorants en milieu aqueux. A cet effet, la recherche des solides qui peuvent piéger les polluants (molécules organiques, métaux lourds et pesticides...) s'avère nécessaire, voir indispensable et surtout pas coûteuse lorsqu'il s'agit d'une valorisation d'un sous-produit qui serait destiné à être jeté afin de minimiser l'impact nocif de ces derniers sur l'environnement.

Donc dans ce projet de fin d'études, et autant que futurs master impliqué dans la protection de l'environnement, notre étude s'est intéressée à l'élimination d'un colorant qui est le bleu de méthylène par un sous-produit de l'industrie agroalimentaire produisant des poules pondeuses donc il s'agit d'un déchet avicole utilisé comme adsorbant 100 % naturel .

La question qui se pose maintenant est-ce que ces déchets avicoles auront un bon pouvoir d'adsorption ou non ? Sachant bien sûre, d'après nos recherches, aucune étude n'a été établie quant au pouvoir adsorbant de ce déchet.

La réponse à cette question contourne justement le but de notre travail de master, qui se résume aux essais d'adsorption du bleu de méthylène sur des déchets avicoles dans différentes conditions pour déterminer le meilleur rendement d'élimination possible, pour ce

Introduction générale

faire ce mémoire est composé de deux grandes parties, la première est consacrée à une revue bibliographique qui se décompose en trois chapitres.

- ✓ Généralités sur la pollution des eaux usées
- ✓ Généralités sur les déchets avicoles.
- ✓ Phénomène d'adsorption - Application au traitement des eaux usées

La seconde partie du travail comporte trois chapitres elle aussi.

- ✓ Présentation du lieu de prélèvement au niveau de l'ORAC de Corso.
- ✓ Matériels et méthodes.
- ✓ Résultats et discussions.

Enfin, en guise de conclusion, une évaluation globale du travail réalisé a été élaborée et certains des nombreux points en suspensions ont été soulevés. A partir de cette constatation, quelques propositions et perspectives pour la poursuite de la recherche dans ce domaine ont été mis en relief. et bien sûr avant ça une documentation sur l'eau, l'adsorption et les déchets avicole est indispensable, nous avons recueillie alors toutes les informations possibles sur le sujet dans une partie théorique, ensuite nous avons entamé une partie expérimentale ou nous avons effectué plusieurs essai d'adsorbions

Bibliographie

[1] : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017

[2] : THESE Présentée à l'Université du Littoral Côte d'Opale Pour obtenir Le grade de Docteur de l'Université du Littoral Côte d'opale Mention : CHIMIE Spécialité : CHIMIE ENVIRONNEMENTALE par Sohayb KHAOULAN

[3] : World Water Council, 2000, 2ème Forum mondial de l'eau, La Haye, mars 2000

PARTIE
THEORIQUE

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES

POLLUTION PAR LES COLORANTS

1.1 Introduction

La qualité de l'eau constitue un enjeu environnemental primordial, les polluants contenus dans les eaux usées ont des origines diverses.

Les cinq principales catégories de pollueurs sont : l'industrie, l'agriculture, les ménages, les transports et l'urbanisation.

Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos cours d'eaux et plus généralement tout le milieu naturel, l'analyse de ces eaux résiduelles permet d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement d'épuration.

1.2 Définition des eaux usées

Il s'agit de toutes les eaux qui ont déjà servi, que ce soit à des fins domestiques (ménage, hygiène, etc.), industrielles ou autres, elles sont collectées par les réseaux d'assainissement (égouts), qui les acheminent vers une station d'épuration collective, sauf quand l'habitation n'est pas reliée au réseau public, dans ce cas, elles sont reversées dans une fosse septique, en station d'épuration, elles passent par différentes étapes de dépollution avant d'être rejetées dans la nature, afin de réintégrer le cycle naturel de l'eau [1].

70 % des eaux usées sont traitées en moyenne dans les pays à revenu élevé, mais seulement 8 % dans les pays en développement. Dans le monde, 80 % environ des eaux usées sont rejetées sans traitement bien que les petites unités décentralisées de traitement se développent avec des coûts de 20 à 50 % moindres que ceux des unités dites conventionnelles.

Un enjeu majeur de la gestion des eaux usées est selon l'ONU de combiner la réduction à la source de la pollution, l'élimination des contaminants et la réutilisation (sans danger) des eaux récupérées avec recyclage des sous-produits utiles, « composante essentielle d'une économie circulaire » car la « récupération des sous-produits peuvent générer de nouvelles opportunités d'affaires et permettre de récupérer de l'énergie, des nutriments, des métaux et d'autres sous-produits »[2].

1.3 Origine des eaux usées

Tableau 1.1 : Type et origine d'eau usées [5-7]

Type des eaux usées	Origines des eaux usées
Les eaux usées domestiques	Issues de l'utilisation de l'eau par les particuliers pour satisfaire tous les usages ménagers
Les eaux usées pluviales	Eaux de pluie ruisselles dans les rues où sont accumulés polluants atmosphériques, poussières, débris, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules
Les eaux usées agricoles	Issus de terres cultivées chargées d'engrais nitrés et phosphatés, sous une forme ionique ou, en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes
Les eaux usées industrielles	<ul style="list-style-type: none"> - Eaux résiduelles chimiques : (industries pharmaceutiques, textiles, savonneries et des fabriques de détergents) - Eaux résiduelles des industries pétrolières : (Eaux résiduelles des raffineries, d'installation pétrochimiques)

1.4 Types de pollution des eaux industriels

Tableau 1.2 : Définition des types de pollution [2-9]

Type de pollution	Définition
Pollution biologique	<ul style="list-style-type: none"> - La pollution biologique se traduit par une forte contamination bactériologique ce qui pose de graves problèmes d'hygiène publique - La contamination des eaux par des matières organiques pose aussi de sérieux problèmes à la biocœnose aquatique. Les mollusques sont particulièrement sensible aux polluants biodégradables
Pollution physique	<ul style="list-style-type: none"> -Elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes : - Pollution mécanique - Pollution thermique - Pollution radioactive
Pollution chimique	<ul style="list-style-type: none"> - Elle résulte des rejets chimiques, et elle est regroupée en deux catégories : - Pollution organique (Hydrocarbures, Phénols.) -Pollution minérale (Métaux lourds, Cyanure, Pollution azoté et Pollution par le phosphore ...)

1.5 Les paramètres caractérisant la pollution des eaux usées

Il existe deux catégories de paramètres à suivre pour caractériser l'eau usée : chimique et physique [10-15]

1.5.1 Paramètres physiques

1.5.1.1 La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau

Le tableau 1.3 donne la qualité d'eau en fonction de la valeur de la turbidité (NTU)

Tableau 1.3 : Qualité d'eau selon la valeur de la turbidité.

Valeur de la Turbidité(NTU)	qualité de l'eau
NTU < 5	Eau clair
NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

Une importante turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration du rayonnement solaire utile à la vie aquatique (photosynthèse).

1.5.1.2 Odeur

Les eaux usées se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition

1.5.1.3 Couleur

La couleur des eaux industriels est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde colloïdale, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes

1.5.1.4 Le pH

Ce paramètre mesure la concentration des protons H^+ contenus dans l'eau et donc l'acidité ou l'alcalinité de l'eau sur une échelle logarithmique de 0 à 14. Ce paramètre influe sur la plupart des mécanismes chimiques et biologiques. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles [12], il diminue en présence des teneurs élevées en matière organique et augmente en période d'étiage, lorsque l'évaporation est importante.

1.5.1.5 Température

C'est un paramètre important surtout pour les eaux usées industrielles (principalement les industries agro-alimentaires, les centrales nucléaires...) qui produisent des eaux chaudes.

L'émission d'une eau propre mais chaude dans un milieu naturel peut créer une pollution.

1.5.1.6 Conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes, la plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouve sous forme d'ion chargés électriquement, la mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de ses sels dissous dans l'eau

1.5.1.6 Matières en suspension

Ce paramètre exprimé en mg/l correspond à la pollution insoluble particulaire, c'est-à-dire la totalité des particules solides véhiculées par les eaux industrielles. Mesuré par peser après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C.

La méthode par centrifugation est plus particulièrement réservée au cas où les méthodes par filtration ne sont pas applicables par suite d'un risque élevé de colmatage des filtres.

1.5.2 Paramètres chimiques 1.5.2.1. Demande chimique en oxygène (DCO)

1.5.2.1 Demande chimique en oxygène (DCO)

Elle regroupe la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières minérales et organiques biodégradables ou non, présentes dans un milieu. Soit donc à la fois les matières oxydables par les processus purement chimique et celles oxydables par les processus biochimiques.

1.5.2.2 Demande chimique en oxygène (DBO₅)

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de l'oxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau (toute matière organique biodégradable polluante va entraîner une consommation d'O₂) au cours des procédés d'autoépuration. La DBO est mesurée au bout de 5 jours (DBO₅), à 20°C (température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'O₂) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasitaire).

1.5.2.3 Carbone total organique COT

Ce paramètre détermine des propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire, du carbone organique provenant de substances volatiles et du carbone minéral dissous. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon.

- ✓ **Le rapport DCO/COT** : renseigne sur l'état d'oxydation de l'effluent
- ✓ **Le rapport DCO/DBO₅** : renseigne sur la biodégradation.

1.5.3 Paramètre de toxicité

1.5.3.1 Les micropolluants

Le terme « micropolluant » désigne un ensemble de substances qui, en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation, sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités

1.5.3.1.1 Les micropolluants organiques

La concentration totale moyenne des micropolluants d'origine organique dans les eaux usées est de 1 à 10 µg/l. Une des principales caractéristiques qui influence les risques de contamination et d'impact des micropolluants organiques sur le milieu et leur persistance. On désigne sous ce terme la durée pendant laquelle une substance est décelable dans le milieu. Il ne faut pas confondre cette notion avec le terme de rémanence qui désigne la durée pendant laquelle les effets d'un traitement restent perceptibles sur une culture

La dégradation des contaminants est évaluée par deux paramètres : la demi-vie et le taux de dégradation. La demi-vie désigne le temps nécessaire pour que la moitié de la dose initiale soit dégradée. Les produits de dégradation ne sont pas forcément inoffensifs pour le milieu, ils peuvent être aussi voire plus toxiques que la molécule initiale.

1.5.3.1.2 les paramètres biologiques

Les micro-organismes comprennent, par ordre croissant de taille : les Virus, les Bactéries, les Protozoaires et les Helminthes. Ils proviennent dans leur immense majorité des matières fécales. Le pouvoir pathogène des micro-organismes (ou pathogénicité) dépend de plusieurs facteurs qui sont les facteurs concernant la physiologie du micro-organisme et ceux concernant la physiologie de l'hôte infectée.

1.5.3.1.3 Les micropolluants inorganiques (minéraux)

Ils constituent, le problème principal pour la réutilisation des eaux usées traitées. A faibles concentrations, les métaux sont des éléments essentiels et indispensables pour les êtres vivants comme constituant et cofacteur de différentes enzymes, ils interviennent également dans diverses voies métaboliques comme catalyseurs. Cependant, à des concentrations plus importantes que celles nécessaires à un développement optimal, les métaux inhibent la croissance et plusieurs processus cellulaires incluant la photosynthèse, la respiration, l'activité enzymatique mais également la synthèse de pigments et de protéines. La division cellulaire peut, également, être affectée. Les éléments métalliques surveillés sont le fer, le chrome, le zinc, le nickel, qui sont utiles au monde vivant en très faible quantité. Les métaux lourds ont un fort caractère bio accumulatif et ont la particularité de ne pouvoir être éliminés. Ils changent simplement de forme.

1.6 Biodégradabilité des effluents industriels

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux. La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que, $K = \text{DCO} / \text{DBO}_5$:

_ Si $k < 1$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables ;

_ Si $1 < K < 2,5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

_ Si $2 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables.

_ Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteur de la croissance bactérienne, tels que, les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures ... etc.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physico-chimique.

Le tableau suivant résume la norme Algérienne des rejets industriels [1.4]

Tableau 1.4 : Norme Algériennes des rejets industriels

N°	Paramètres	Unité	Valeur limite	Tolérances aux valeurs limite anciennes installation
1	Température	C °	30	30
2	PH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
3	MES	Mg/l	35	40
4	Azote Kjeldahl	Mg/l	30	40
5	Phosphore total	Mg/l	10	15
6	DCO	Mg/l	120	130
7	DBO ₅	Mg/l	35	40
8	Aluminium	Mg/l	3	5
9	Substances toxique bioaccumulables	Mg/l	0.005	0.01
10	Cyanures	Mg/l	0.1	0.15
11	Fluor et composés	Mg/l	15	20
12	Indices de phénols	Mg/l	0.3	0.5
13	Hydrocarbures totaux	Mg/l	10	15
14	Huiles et graisses	Mg/l	20	30
15	Cadmium	Mg/l	0.2	0.25
16	Cuivre total	Mg/l	0.5	1
17	Mercure total	Mg/l	0.01	0.05
118	Plombe total	Mg/l	0.5	0.75
19	Chrome totale	Mg/l	0.5	0.75
20	Etain total	Mg/l	2	2.5
21	Manganèse	Mg/l	1	1.5
22	Nickel total	Mg/l	0.5	0.75
23	Zinc total	Mg/l	3	5
24	Fer	Mg/l	3	5
25	Composé organique chlorés	Mg/l	5	7

1.7 pollutions par les colorants

La présence de colorants dans les effluents est une préoccupation majeure à cause des effets néfastes provoqués sur les êtres vivants. La décharge de colorants dans l'environnement est un sujet de préoccupation pour des raisons toxicologiques et esthétiques. Les industries telles que le textile, le cuir, le papier, les plastiques utilisent et consomment d'importantes quantités d'eau pour colorer leurs produits. Cela a généré d'importantes quantités d'eaux usées et colorés. Il a été estimé qu'environ 100000 colorants étaient disponibles dans le commerce avec une production annuel de colorants de plus de 7×10^5 tonnes. Il est reconnu que la perception publique de la qualité de l'eau est fortement influencée par la couleur. Une eau colorée est une contaminée. La présence même de très petites quantités de colorants dans l'eau - moins de 1 ppm pour certains colorants est très visible et indésirable [31-32].

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Il est généralement constitué de trois parties

- ❖ Un chromophore,
- ❖ Un groupe auxochrome
- ❖ Un groupe solubilisant.

Le chromophore est en quelque sorte la portion responsable de la couleur du composé. L'auxochrome est la partie influençant l'intensité de la coloration et fixe avec efficacité le colorant sur le support. Le groupe solubilisant améliore la solubilité du colorant et ainsi peut être potentiellement appliqué en milieu aqueux [18], et peuvent absorber la lumière de longueur d'onde située dans la région visible (350–700 nm) ; ils sont colorés et détectables même à la concentration de 1 mg. L⁻¹. De plus, l'absorption de la lumière due aux colorants textiles pose un problème pour les plantes aquatiques photosynthétiques et les algues [18-19].

Tableau 1.5 : Longueur d'onde absorbée et couleur du colorant observée

Longueur d'onde (nm)	Couleur absorbé	Couleur observé
400–435	Violet	Jaune vert
435–480	Bleu	Jaune
480–490	Vert-bleu	Orange
490–500	Bleu-vert	Rouge
500–560	Vert	Rose
560–580	Jaune-vert	Violet
580–595	Jaune	Bleu
595–605	Orange	Vert-bleu

1.7.2 Classification des colorants

La classification des colorants peut être faite selon leur constitution chimique. Si cette classification présente un intérêt pour le fabricant, le teinturier quant à lui préfère la classification par domaine d'application [18].

Tableau 1.6 : principaux groupements chromophores et auxochromes, classée par intensité décroissante

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH₃)
Carbonyle (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH₃)₂)
Vinyle (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulfure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

1.7.2.1 Classification chimique

Le classement des colorant selon leur structure chimique s'appuie principalement sur la nature du groupement chromophore qui lui confère la couleur ou selon le groupement auxochrome, qui constitue le squelette nécessaire à de la coloration de la molécule, ce qui amène à distinguer les principales familles de colorants et les différentes structures associées. Les différentes structures des colorants textiles sont regroupées dans le tableau (3) [20,21]

1.7.2.2 Classification tinctoriale

Ce sont des anions colorés, constitués d'un groupement chromophore (responsable de l'effet de coloration) et plusieurs groupes sulfonate qui permettent leur solubilisation dans l'eau [18]. Ces types de colorants renferment les caractéristiques suivantes [21]

- ❖ Stabilité en milieu neutre ou alcalin ;
- ❖ Possède une solidité à la lumière variable (moyenne et très bonne) selon leur formulation chimique ;
- ❖ Le PH des solutions de ces colorants est compris entre 6 ET 10 ;
- ❖ Solubilité dans les alcools et les glycols (pour l'utilisation en peintures).

1.8 Bleu de méthylène

Le bleu de méthylène est couramment utilisé. C'est une substance pouvant provoquer des brûlures oculaires qui peuvent être responsable de lésions permanentes aux yeux des êtres humains et des animaux. En cas d'inhalation, il peut donner lieu à de courtes périodes de respiration rapide ou difficile, tandis que toute ingestion par la bouche produit une sensation de brûlure et de nausées, de vomissement, de sueurs, de confusion mentale et une méthémoglobinémie [31]. En conséquence, le traitement des effluents contenant ce colorant s'impose.

De nombreux procédés de traitement ont été appliqués pour l'élimination de colorants des eaux usées, tels que: la dégradation photo catalytique , la dégradation sonochimique , micellaire amélioré ultrafiltration , des membranes échangeuses de cations], électrochimiques dégradation , adsorption / procédés de précipitation , intégrée la dégradation chimique et biologique, le fer intégrée (III) traitement photochimiques biologique, l'énergie solaire photo-Fenton et processus biologiques , Fenton biologique système de traitement et l'adsorption sur charbon actif [19.32-40]

Comme colorants synthétiques dans eaux usées ne peut pas être efficacement décoloré par les méthodes traditionnelles, l'adsorption de colorants synthétiques sur supports solides a été considéré comme une méthode simple peu coûteuse et efficace

1.9 PROPRIETES

❖ PROPRIETES CHIMIQUE

Le bleu de méthylène (ou chlorure de méthylthionium) est un composé organique dont le nom savant est 3,7-bis-(diméthylamino) phenazathionium. Il est soluble dans l'eau et plus légèrement dans l'alcool. Il fut synthétisé la première fois par Heinrich Caro en 1876. Il fait partie de la liste des médicaments essentiels de l'Organisation mondiale de la santé (liste mise à jour en avril 2013) [31].

Formule brute $C_{16}H_{18}ClN_3S$

Masse molaire $319,852 \pm 0,022$ g/mol

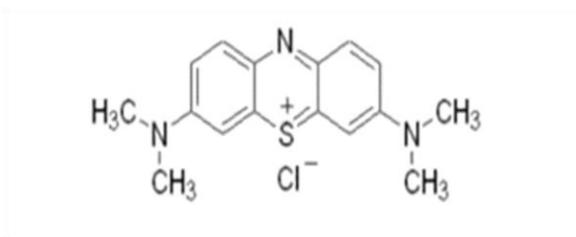


Figure 1.1 : Structure chimique du bleu de méthylène.

❖ PROPRIETES PHYSIQUES

T° fusion décomposition à ≈ 180 °C ;

Solubilité 50 g·l⁻¹ dans l'eau à 20 °C ;

Solubilité 10 g·l⁻¹ dans l'éthanol à 20 °C.

Les dérivés du bleu de méthylène sont : Azure de méthylène C₁₆H₁₈N₃SO₂, violet de méthylène C₁₄H₁₂N₂SO, rouge de méthylène C₁₆H₁₈N₄S, 2(HCl), la base libre du bleu de méthylène C₁₆H₁₈N₃SOH [25].

1.10 Utilisation du bleu de méthylène

Le bleu de Méthylène est utilisé intensivement dans différents domaines tel que : la chimie, la médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants. Citant quelques usages de ce composé :

- ❖ Il sert d'indicateur coloré redox : sa forme oxydée est bleue tandis que sa forme réduite est incolore. On l'utilise dans la fameuse expérience de la bouteille bleue.
- ❖ Il est employé comme colorant histologique. Le bleu de méthylène teint le collagène des tissus en bleu. Il tache la peau durant plusieurs semaines. Il est donc utilisé comme encre alimentaire pour les viandes, par tampon.
- ❖ Il permet de calculer le taux de dureté de l'eau (en °Th : Taux Hydrotimétrique).
- ❖ Le bleu de méthylène est couramment utilisé pour colorer le coton, la soie, le bois, etc.
- ❖ Il est utilisé comme colorant alimentaire dans le Curaçao et certaines variétés de Gin.
- ❖ En médecine, il est fréquemment utilisé comme marqueur afin de tester la perméabilité d'une structure (par exemple des trompes utérines lors d'une hystérosalpingographie) ou de préciser le trajet d'une fistule. Il est aussi utilisé lors de chimiothérapie anti-cancéreuse comme antidote à l'ifosfamide afin de prévenir les crises de convulsions liées à la neurotoxicité du produit.
- ❖ Le bleu de méthylène est utilisé en quantité importante pour lutter contre la méthémoglobine.
- ❖ Si ingéré, il peut colorer l'urine et les selles.

1.11 Toxicité du bleu de méthylène

Les données toxicologiques relatives à l'utilisation du bleu de méthylène chez l'homme depuis de nombreuses années ont indiqué jusqu'à présent l'absence de danger lié à l'utilisation de ce produit comme médicament, dont la dose totale administré ne doit pas dépasser 7 mg/kg. Il peut causer, néanmoins, des douleurs thoraciques, une dyspnée ; une anxiété, des tremblements, des hypertensions, et même coloration de la peau si la dose est élevée. Le bleu de méthylène n'est pas fortement dangereux, mais il a un effet nocif sur les organismes vivants et les eaux L'exposition aigue à ce produit causera : [20, 28, 29].

- ❖ Exposition externe : irritation de la peau et des dommages permanentes aux yeux
- ❖ Par l'inhalation : respiration rapide ou difficile [20] et augmentation de la fréquence cardiaque

- ❖ Par l'ingestion : irritation de l'appareil gastro-intestinal, nausée, transpiration prodigue, confusions mentales, cyanose et nécrose des tissus humains

1.12 Bibliographie

- [1] : Ménana HADDOU Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse. Thèse de doctorat de l'université de toulouse.05 février 2010
- [2] : Traitement et épuration des eaux industrielles polluées Par Grégorio Crini, Pierre-Marie Badot. Pp 318.
- [2] : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 - Les eaux usées une ressource inexploitée. sur unesco.org, consulté le 26 mars 2017
- [3] : DAFFRI Amel : Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine. Mémoire Magister 2008.
- [4] : Feteh TARMOUL : Détermination de la pollution résiduaire d'une station d'épuration par, LA GUNAGE naturelle juillet 2007.
- [5] : ATTAB Sarah : Amélioration de qualité microbiologique des eaux épurées par les boues activées de la station d'épuration HAUD BERKAOUI par l'utilisation d'un filtre à sable local 28/11/2011
- [6] : M'METAHRI Mohamed Saïd : Elimination simultanées de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitée par des procédés mixtes, Thèses de doctorat ,02/07/2012.
- [7] : Eurshange institut firewassed RWTH acher B, BOHNKE PORPINGHAUS, Technologie des eaux résiduaires
- [8] : C. GONUMELLA : Traitement des eaux publique et privée 2^{eme}edition, 1978.
- [9] : A. MIZI. Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. ANNABA. 2006.
- [10] : F. GALAF et S. GHANNAM. Contribution à l'élaboration d'un manuel et d'un site web sur la pollution du milieu marin. Mémoire d'ingénieur d'état. Université HASSAN II. RABAT. ROYAUME du MAROC. 2003.
- [11] : BENFETTOUM Ryma, OUADOU Sara « Caractérisation des eaux usées issues de la tannerie de Rouïba et leurs traitements par couplage oxydation FENTON et adsorption sur charbon actif en grains » Mémoire de master, FS, Boumerdes, 2015

- [12] : LHARAIG Amina et BOUIZRI Nassima « Traitement des effluents issus de la tannerie de Rouïba par procédé Fenton chimique » mémoire de master, 2014, faculté des sciences, Boumerdes
- [13] : Gestion des ressources hydrolyse MANITOBA et santé MANITOBA, Mars 2011 « La Turbidité dans les sources d’approvisionnement en eau au MANITOBA »
- [14] : « Qualité physico-chimique des eaux de surface » cadre général, Institut bruxellois pour la gestion de l’environnement, novembre 2005
- [15] : MAHDI Yasmina, SAIB Imane « Optimisation du traitement par adsorption en batch sur charbon actif en grain des eaux de la tannerie de ROUIBA prétraitées par FENTON chimie dans l’élimination du chrome III » Mémoire de master, FS, Boumerdes, 2016
- [16] : loi n°83-17 DU 16Juillet 1983portant code des eaux, de l’ordonnance n°96 DU 15Juin 1996 modifiant et complétant la loi 83-17, du décret exécutif n°93-16 du 10 juillet réglementant les rejets d’effluents liquides des industriels et du décret exécutif n°64-141 du 19 Avril2011 de la république Algérienne démocratique (JORAD)
- [17] : (Donzé, 1988).
- [18] : N. BARKA, << L’élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photo catalytique sur TiO₂ supporté >>, thèse de doctorat, universités d’Agadir (2008)
- [20] : S. BENDOU, << Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture>>, mémoire de magister, université de Boumerdes (2009).
- [21] : S. HAMMAMI, << Étude de dégradation des colorants de textiles par les procédés d’oxydation avancée .application à la dépollution des rejets industriels >>, thèse doctorat université paris-Est (2008
- [22] : P.A. Bolotin, S.F. Baranovsky, M.P. Evstigneev, ActaPart, A 64 (2006) 693–697
- [23] : J. Cenens.A.Schoonheydt, Clays and Clay Minerals, 36 (1988) 214-224
- [24] : R. Beer, M. Baumann, A. Kielbassa. ()2006 << Pocket Atlas of Endodontic: staining the cavity with methylene blue>>
- [25] : T. M. Wilson, American Journal of Physiology, 19 (1907) 647-670
- [26] : K. Dutta, S. Mukhopadhyaya, S. Bhattacharjee, B. Chaudhuri, methylene blue using a, Journal of Hazardous Materials, B 84 (2001) 57-71
- [27] : R. Beer, M. Baumann, A. Kielbassa. ()2006 << Pocket Atlas of Endodontic: staining the cavity with methylene blue>>, thieme.
- [28] : Mohd. Rafatullaha, O. Sulaimana, R. Hashima, A. Ahmad, Journal of Hazardous Materials ,177 (2010) 70–80. 23]. Md. T. Uddin, Md. A.Islam, S. Mahmud, Md. Rukanuzzaman; <>, Journal of Hazardous Materials, 164 (2009) 53–60.

- [29] : Md. T. Uddin, Md. A. Islam, S. Mahmud, Md. Rukanuzzaman; <>, *Journal of Hazardous Materials*, 164 (2009) 53–60.
- [30]. V.S. ukumar, A. Ramalingam, *Journal of Quantum Information Science*, 1 (2011) 69-72.
- [31] : Semari Asma. Tourech Amina « Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur différents matériaux en milieu aqueux » mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master en chimie 2015
- [32] : T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, P. Nigam, "Remediation of dyes in textiles effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative", *Bioresour. Technol.* 77 (2001) 247–255.
- [33] : F. Al Mardini. Etude de l'adsorption du pesticide Bromacil sur charbon actif en poudre En milieu aqueux Effet compétiteur des matières organiques naturelles. Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, 2008, 245 p.
- [34] : J.-P. WAUQUIER, 1998, Raffinage du pétrole, Tome 2. Procédés de séparation, page 704, page 603.
- [35] : Adsorption of phenolic compounds on low-cost adsorbents: A review Md. Ahmaruzzaman *Advances in Colloid and Interface Science* 143 (2008) 48–67
- [36] : S.S. Gupta, K.G. Bhattacharyya, Immobilization of Pb (II), Cd (II) and Ni (II) ions on kaolinite and montmorillonite surfaces from aqueous medium, *J. Environ. Manage.* 87 (2008) 46–58.
- [37] : Majone M., Petrangeli Papini., Rolle E., (1993). Clay adsorption of lead in landfill leachate, *Enviro. Technol.*, 14, p.629-638.
- [38] : Griffin R.A., Frost R.R., Au A.K., Robinson G.D., Shimp N.F., (1977). Attenuation of pollution in municipal leachate by clay minerals. Part 2 – Heavy metal adsorption, *Environ. Geol. Notes.*, 79, p.1- 47
- [39] : Fujiyoshi R., Eugene A., Katayama M., (1992). Behaviour of radionuclides in the environment –I. Sorption of Zn (II) on clay minerals, *Appl. Radiat. Isot.-Int. J. Rad.*, 43, A (10), 1123-1126.
- [40] : S. Malamis, E. Katsou, A review on zinc and nickel adsorption on natural and modified zeolite, bentonite and vermiculite: Examination of process parameters, kinetics and isotherms. *Journal of Hazardous Materials* 252– 253 (2013) 428– 461

CHAPITRE 2

GÉNÉRALITÉS SUR LES DÉCHETS AVICOLES

2.1 Introduction

La production animale fait partie intégrante de l'agriculture et du développement rural et durable. Elle joue un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire, la conservation de la biodiversité et des ressources naturelles. L'élevage représente environ 40 % de la production agricole mondiale en 2008. L'aviculture quant à elle représente 30 % de la production animale. Ses produits assurent plus de 50% de la ration alimentaire moyenne d'origine animale en Algérie.[1]

La production nationale en viande blanche a connu une évolution considérable en 2017, atteignant 5,3 millions de quintaux (Mqt), contre 2,092 Mqt en 2009, soit une augmentation de 153%, a indiqué le ministre de l'Agriculture, du développement rural et de la pêche, ainsi que durant les dix dernières années, la production avicole a enregistré un progrès de 10,3% dans la filière viandes blanches et 6,2% des œufs destinés à la consommation [2].

La viande blanche contribue actuellement à plus de 50 % de la consommation totale de viande en Algérie ; ce secteur génère donc une quantité importante de déchets. Les mesures de traitement sont peu développées et les déchets sont souvent déposés anarchiquement dans les décharges publiques avec des conséquences négatives sur la santé de la population limitrophe [2,4].

Certains sont aussi déversés dans le milieu naturel. Ces différentes destinations entraînent des situations à risque pour l'homme et les animaux, car elles contribuent à une pollution microbiologique de l'environnement (épandage et rejets dans le milieu naturel) [1].

Pendant des millénaires, culture et élevage ont été associés pour améliorer la fertilité des sols, grâce à l'utilisation des déjections animales comme fertilisant, et en particulier les fientes des volailles (canard, pigeons, poulet...). Ils permettent de réaliser des économies d'intrants en favorisant la vie et le maintien du taux de matière organique des sols (fumiers, composts) [1].

2.2 Définition d'un déchet avicole

Le déchet de point de vue environnemental est le plus proche des problématiques de santé publique, par le lien qui rapproche les nuisances environnementales des problèmes sanitaires, il est comme une menace, un risque dès que l'on envisage son contact, direct ou après traitement, avec l'environnement. Cette approche a fortement influencé la réglementation relative aux déchets, le premier objectif de gestion étant de prévenir ou de réduire leur production et leur nocivité.

Dans l'approche économique, le déchet est de plus en plus considéré comme une richesse potentielle dont on peut, grâce à des techniques novatrices, extraire une nouvelle valeur apte à réintégrer le circuit économique.

Dans l'approche fonctionnelle, le déchet est comme un flux de matières issues d'une « unité fonctionnelle » représentée par une activité ou un ensemble d'activités. Cette unité a pour but de fabriquer un produit et fonctionne avec des flux d'entrée et de sortie. Parmi ces flux de sortie, non assimilables directement par le milieu naturel, on retrouve également les effluents. [5].

On appelle un effluent d'élevage tout déchet issu d'une activité d'élevage quel que soit sa nature. Les effluents d'élevage (fumiers et lisiers...) comportent des éléments fertilisants et de la matière organique nécessaires au sol et aux cultures. Bien les valoriser permet de faire des économies d'intrants tout en respectant l'environnement. [6].

2.3 Catégorisation des déchets en Algérie

Plusieurs types de déchets sont communément produits dans les différentes localités du pays. Ceux-ci, peuvent être classés suivant leur origine ou suivant la nature du danger auquel ils exposent l'homme ou son environnement.

2.3.1 Catégorisation des déchets suivant leur origine

Suivant leur origine, on rencontre quatre classes de déchets en Algérie :

2.3.1.1 Les déchets ménagers

Les déchets des ménages sont liés à l'activité domestique. Il s'agit notamment des déchets dégradables de l'alimentation. Ils comprennent les ordures ménagères au sens strict, les encombrants et les déchets de jardinage, ou déchets verts. Seules les ordures ménagères et les déchets verts sont susceptibles d'être valorisés en agriculture après un traitement adéquat. La composition des ordures ménagères étant très hétérogène, il faut regrouper les constituants en catégories physiques homogènes. La classification détaillée comporte dix catégories, mais une classification simplifiée en cinq catégories peut être utilisée. Cette dernière comprend les matières fines inférieures à 20 mm, les matières combustibles (chiffons, plastiques, os, bois), les matières inertes (métaux, verres, porcelaine, faïence), les matières fermentescibles (restes de végétaux, viandes), les papiers et cartons (combustibles ou fermentescibles) [7].

L'organigramme suivant illustre clairement la classification de ce type de déchet.

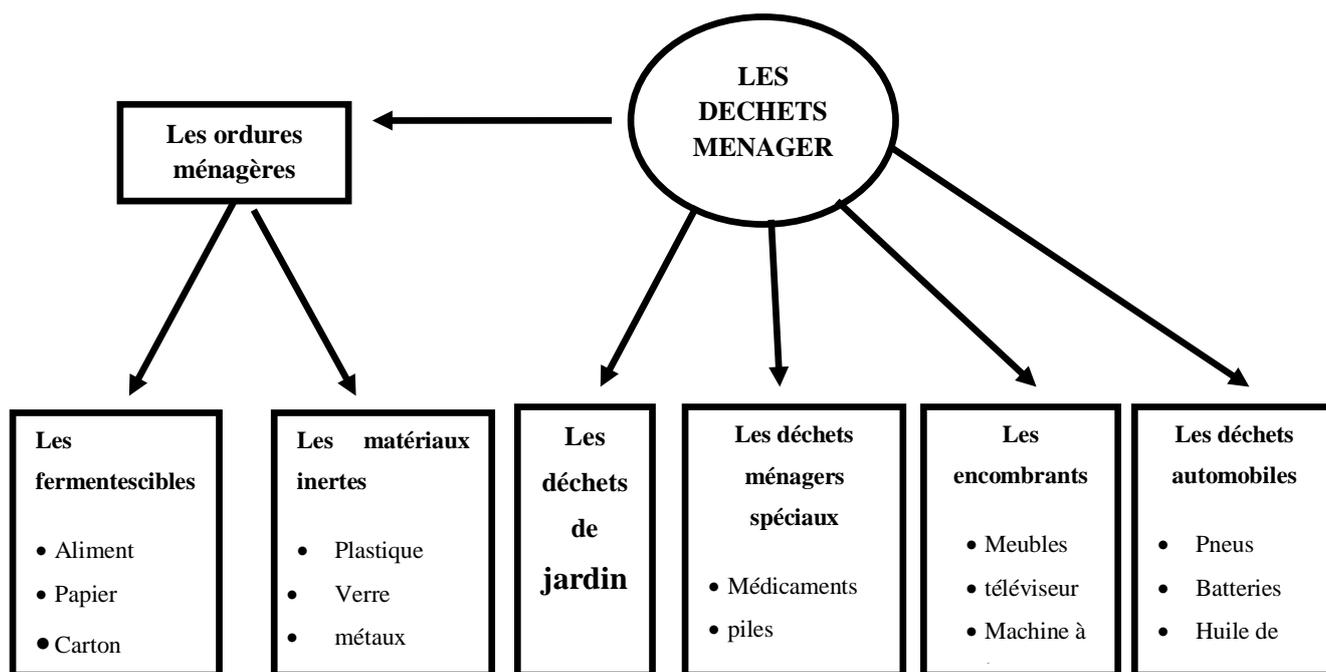


Figure 2-1 : Organigramme donnant les différents types de déchets[8].

2.3.1.2 Les déchets de marchés

Les déchets de marchés sont liés à l'activité commerciale. Ils comprennent les ordures issues du commerce des vivres, les emballages, les bouteilles, etc. [7].

2.3.1.3 Les déchets hospitaliers

Les déchets médicaux désignent d'une manière générale les déchets issus d'une activité de soin à l'hôpital, dans des structures médicalisées. Ils sont souvent classés en deux catégories principales, selon leur degré de dangerosité : d'une part, les déchets médicaux assimilables aux déchets ménagers (comme les emballages), sans risque direct pour la santé des personnes ou pour l'environnement qui représentent environ 80 % de la production totale et d'autre part, les déchets médicaux présentant un risque infectieux ou sanitaire pour les 20 % restants [9]

2.3.1.4 Les déchets solides industriels

Les déchets industriels proviennent des industries et des usines. Dans cette classe, entrent par exemple les déjections de poules pondeuses (Poulaillers des grandes fermes).

Les déchets industriels semi-solides tels que les déjections de poules pondeuses ont des compositions très variables. Cette variabilité est surtout liée à la teneur en matière sèche de l'effluent. Ces déjections présentent de grandes qualités de fertilisation et leurs caractéristiques physiques détermineront les modalités d'épandage [7].

2.4 Classement des déjections avicoles

Les déjections avicoles peuvent se classer en trois grands types :

- Des produits liquides (lisiers) issus de l'élevage des poules pondeuses et des canards.
- Des produits pâteux à secs (fientes) issus de l'élevage des poules pondeuses.
- Elimination gazeuses issus de la méthanisation des fumiers ou les odeurs qui se dégagent des litières.

2.4.1 Déjections liquides

Nous trouvons dans cette catégorie :

2.4.1.1 Les lisiers

On distingue ici les lisiers liquides qui sont un mélange liquide d'urines, d'eaux d'élevages avec quelques déchets de litière. C'est un mélange homogène. Sa teneur en matière sèche (MS) est inférieure à 13 %. De plus on a aussi des lisiers pailleux qui sont un mélange liquide et solide hétérogène, de même composition que le lisier liquide mais la paille est présente en grande quantité. Sa teneur en MS varie de 10 % à 20 % Les lisiers présentent différentes contraintes environnementales par leur richesse en nitrates et certains métaux tels que le cuivre et le zinc.

2.4.1.2 Les urines

Dans certains élevages pilotes, on pratique la séparation des urines et des fèces en mettant les animaux sur caillebotis. On récolte alors les urines indépendamment. Leur traitement et leurs utilisations en seront facilités : les urines sont épandues et les fèces séchées sont compostés

2.4.1.3 Les jus d'ensilage

Ce sont des effluents de silo rejetés lors de la confection de ces derniers. La quantité produite est inversement proportionnelle à la matière sèche du fourrage à ensiler (les quantités de jus sont maximales pour des taux de matières sèches faibles) [10].

2.4.1.4 Les purins

Le purin est un déchet liquide produit par les élevages. Il est constitué principalement d'urines ; de la phase liquide s'écoulant d'un tas de fumier. Contrairement au lisier qui contient près de 10 % de matières sèches, le purin possède un maximum de 5% de matières solides, ce qui peut en faire un support adapté pour la macération de substances (plantes, algues) utilisées en agriculture biologique ou régénératrice. Il a cependant été régulièrement utilisé comme engrais et permet un apport de potassium non négligeable [10].

2.4.2 Déjections pâteuses à sèches

Dans cette catégorie nous avons :

A. **Les fumiers** : Le fumier est une matière organique qui provient des excréments et d'urine mélangés à de la litière, il est utilisé en fertilisant vu sa composition élevée de matière organique et nutriments et notamment l'azote l

B. **Les fientes** : elles sont constituées de fèces, d'urines, de plumes, d'œufs ou de coquilles d'œuf, et de litière. C'est un mélange hétérogène, l'aspect des fientes varie en fonction de leur humidité :

- De 15 à 20% d'humidité, elles sont sèches, poussiéreuses, gris clair, elles sont plus volontiers appelées " fumier", et concernent les volailles de chair.

- À 70% d'humidité, elles sont visqueuses, magmatiques, et très foncées, on parle alors de fientes de poules pondeuses.

2.4.3 Elimination gazeuses

Les émanations gazeuses sont loin d'être négligeables, parmi elles, on distingue [11] :

- ❖ **Méthane (CH₄)** : le méthane est produit lors de la méthanisation des fumiers. Cette méthanisation dégage aussi du dioxyde de carbone

- ❖ **Ammoniac (NH₃)** : du fait de son odeur nauséabonde, l'ammoniac est à l'origine de nombreux désagréments, comme la pollution de l'air. Ainsi l'ammoniac se dégage des litières avicoles, à l'origine de l'odeur acide dans les bâtiments d'élevage, mais aussi à partir du traitement des déjections animales (stockage, brassage, et épandage). L'utilisation de couvertures de fosses et l'enfouissement immédiat après épandage limitent considérablement les pertes Le NH₃ dans les bâtiments d'élevage peut être à l'origine de l'affaiblissement des mécanismes immunitaires des animaux

- ❖ **Hydrogène sulfureux (H₂S)** : il se dégage lors du mélange du lisier et des jus d'ensilage

2.5 Composition moyenne chimique des déchets avicoles

La composition chimique des fientes est très variable. Cependant, on peut donner des valeurs moyennes (Tableau 1-1). Les facteurs de dilution peuvent aussi modifier la composition des fientes

Ils se distinguent globalement par des teneurs en matière sèche, azote et phosphore élevées :

Tableau 2-1 : Composition des effluents avicoles [12]

Valeurs exprimées par kg de produit brut	Fientes sèches de poules pondeuses	Fumier frais de poulets et dindes	Fumier stocké de poulets et dindes	Compost de fumier de volailles
Matières sèche (%)	80	57	39	63
Matière organique (g/kg)	580	440	280	440
Azote total (g/kg)	40	25	16	23
N-NH4 (g/kg)	4	6	3	6
P2O5 (g/kg)	36	16	16	28
K2O	25	19	18	24
Cu (g/kg)	68	54	45	124
Zn (g/kg)	422	92	120	288

2.6 Facteurs de variation de la composition des déjections avicoles

La composition des déjections avicoles dépend d'un grand nombre de facteurs de variation. On cite parmi eux :

- La qualité et la quantité de l'alimentation donnée
- La qualité de l'eau donnée
- Le poids de l'animal
- L'ajout des antibiotiques et vaccins
- L'entretien des bâtiments d'élevage
- L'aération des bâtiments d'élevages

Dans la plupart des cas, c'est le taux de matières sèches qui est affecté. Or, la teneur en matières sèches influence la concentration en éléments fertilisants. Elle joue également un rôle dans l'évolution de la teneur en azote, dans la mesure où elle est un facteur important de variation des fermentations. En effet, celles-ci conduisent à des pertes d'azote sous forme de dégagement d'ammoniac. La teneur en matières sèches dépend elle-même de nombreux facteurs. Notamment, l'aménagement du bâtiment, la ventilation du poulailler, le matériel d'abreuvement. [13]

2.7 Impact des déchets d'élevage sur l'environnement et la santé

Parmi les problèmes générés par l'intensification de l'aviculture, le problème des déjections est le plus crucial, car elles sont à l'origine de nuisances olfactives et de pollutions du sol et de l'eau.

La gestion des fientes de poules pondeuses est une préoccupation importante dans les grandes fermes de notre pays. L'ampleur des effets est liée aux propriétés physico-chimiques

des polluants, aux quantités déversées, au mode de traitement affecté aux déchets et aux facteurs environnementaux [7].

C'est pourquoi il paraît désormais important de mieux connaître les déjections avicoles de façon à mieux les valoriser.

2.7.1 Impacts sur l'environnement

❖ L'espace physique

L'entassement des fientes de poules provoque des encombrements, occasionne les embouteillages au niveau de la circulation du personnel. Il contribue à l'obstruction des voies de drainage des eaux pluviales et usées.

❖ L'esthétique urbaine

Les poulaillers en général posent la plupart du temps un problème de prolifération des mouches, provenant de la dégradation des sous-produits avicoles.

❖ La couche d'ozone

L'incinération des ordures provoque les dégagements de certains gaz comme le NO, NO₂, CO, CO₂, ... qui sont destructeurs de la couche d'ozone. L'entassement des fientes (sans retournement) sur place, provoque des réactions de fermentation anaérobique avec production de méthane qui est un gaz à effet de serre (GES) et destructeur de la couche d'ozone.

Les GES s'échappent inévitablement dans l'atmosphère. Les nitrates, ammoniac, et autres provenant des fientes de poules pondeuses dégagent des GES qui ont un impact négatif sur la qualité de l'air et un potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique. [7].

❖ Pollution de l'air

Les mauvaises odeurs pourraient être potentiellement véhiculées par les particules de poussières issues des poulaillers.

De manière générale, les polluants qui présentent des caractères de persistance et de bioaccumulation constituent une préoccupation particulière de santé publique [7], Inhalés ou ingérés à longueur de journée, ils peuvent contribuer à :

- L'augmentation du taux de maladies (leucémies) et des nuisances olfactives ;
- Altération des capacités psychiques (fatigue) et physiologiques (troubles de tension artérielle, lésions des cellules sanguines et leurs organes producteurs) [7].

❖ Pollution de l'eau et du sol

Les fientes de poulaillers sont souvent sources de pollutions des sols et de l'eau par des ruissellements. De plus celle-ci peuvent avoir un impact majeur sur la pollution de la nappe phréatique. Lors des déversements, d'égouttures et/ou de fuites de produits, les eaux usées peuvent aussi être chargées de polluants potentiels en quantités importantes à l'instar des nitrates, phosphores, et autres.

En général, ces substances favorisent la consommation en oxygène du milieu, diminuent l'efficacité des systèmes d'épuration biologiques et les échanges gazeux air/eau, s'accumulent et créent des dépôts pouvant entraîner un dysfonctionnement des systèmes d'assainissement.

Leurs propriétés, souvent toxiques pour les organismes vivants peuvent détruire les écosystèmes et interdire l'utilisation de la ressource en eau pour de nombreuses générations [7].

2.7.2 Impacts sur la santé

❖ Dégagement des gaz toxiques

L'incinération des tas fientes de poules en plein air provoque le dégagement de certains gaz comme le CO₂ (Dioxyde de carbone), SO₂ (dioxyde de soufre), C₂H₄ (Méthane) et des poussières très nocifs pour les animaux et les êtres humains.

❖ Prolifération des vecteurs de maladies

L'entassement des fientes de poules sans retournement provoque les dégagements des odeurs nauséabondes, lesquelles attirent les mouches et les moustiques, vecteurs de multiples maladies.

❖ Prolifération des rongeurs

Les rats et les souris aiment fabriquer leurs refuges dans les sous-produits avicoles.

2.8. Procédés de traitement des déjections avicoles

Différentes techniques de traitement des déjections avicoles sont actuellement rentables. L'objectif est de limiter leurs effets néfastes sur l'environnement et d'améliorer leur valorisation. Ces méthodes visent ainsi à optimiser la qualité chimique et microbiologique des fientes :

- **2.8.1 La méthanisation** : est un procédé de dégradation de la matière organique (MO) par des bactéries en absence d'oxygène, produisant du biogaz. Cette réaction se déroule naturellement dans certains milieux où les conditions sont réunies (sédiments marins, marais, tourbières, panse des ruminants, etc.). Ce processus est également appelé la digestion anaérobie. Les déjections avicoles sont particulièrement intéressantes à utiliser quand elles sont produites en quantités importantes et régulières. Les fumiers et fientes sont adaptées à la méthanisation, compte tenu de son état physique et chimique (matières fines, facilement hydrolysable et contenant des microorganismes) qui facilitent leur manipulation et qui permettent d'être en Co-digestion avec d'autres substrats [14].

- **2.8.2 Compostage** : procédé biologique de dégradation et de réorganisation de la matière organique. Cette biodégradation s'effectue généralement sous l'action de microorganismes aérobies décomposeurs, le compost est utilisé pour l'amendement des sols, la fertilisation des cultures sur sol y compris en culture hors sol [15].

- **2.8.3 Le vermicompostage (lombricompostage)** : est un procédé de bio oxydation et stabilisation de la matière organique grâce à l'action combinée des microorganismes et des lombriciens, il donne un compost qui ne requiert pas de phase thermophile caractéristique du compostage. Ce compost appelé lombricompost est de haute qualité notamment en raison de son excellente structure granulaire. (Ce procédé est plus rapide que le compostage, c'est le passage du substrat par les intestins des vers de terre qui sont riche en microorganismes et en régulateurs de croissance ; il s'agit d'une différence de rapidité significative mais pas encore bien compris [11].

- **2.8.4 L'épandage du fumier** : une méthode pratiquée, qui utilise peu de fumier, et qui facilite l'absorption rapide des éléments nutritifs par les jeunes racines. Une fois le fumier épandu sur une planche, on observe un changement rapide dans l'aspect des plantes les jours qui suivent [16].

2.9 Bibliographie

[1] : cours Zootech l'école nationale vétérinaire EL Harrache 3em année

[2] : BESSA DAHBIA Mémoire de fin d'études Représentation de la filière avicole dans la région de Tizi-Ouzou et évaluation de la production et de la consommation de viande de poulet

[3] : A. El Moutawakil - Problèmes de la décharge de Kenitra. - Actes du Séminaire sur le Compostage et la Gestion des Décharges, Kenitra, Maroc, (1995) 103-112

[4] : M. Benzakour, R. Saissi, G. Didier - Situation actuelle et évolution de la gestion des déchets solides au Maroc/Expérience pilote de la mise en place d'une décharge contrôlée à Essaouira. (2003), 3 p.

[5] : METRAS R., - Utilisations et dangers sanitaires microbiologiques liés aux effluents d'élevage. Thèse de doctorat de l'école nationale vétérinaire de Lyon.150 pages. 2003

[6] : Jean-François Fortier, Arnaud Florentin, Denis Terver 24.04.2020 définition d'effluent a consulté à l'adresse suivante <https://www.aquaportail.com/definition-4163-effluent.html>

[7] : LEKEFACK Jean Paul « Evaluation de la gestion des fientes de poules pondeuses : cas de la grande ferme du GIC AECAM de MENDONG », Master Professionnel en Sciences de l'Environnement, UNIVERSITE DE YAOUNDE I, 2015

[8] : SABAH BENCHAREF Valorisation d'un déchet avicole appliquée au traitement des eaux usées Université M'hamed Bougara de Boumerdès

[9] : TECHNO-SCIENCE source Wikipédia sous licence CC-BY-SA 3.0

[10] : ITAVI et ITP 2005 - Institut Technique de l'Aviculture et Institut Technique du Porc : étude du marché des fertilisants organique ; étude réalisée pour le compte de l'OFIVAL (Office Interprofessionnel de Viande France. 55 pages)

[11] : J M., 1991- L'élevage bovin et l'environnement : guide pratique ITEB, Paris, 250pages.

[12] : BOUGHABA Rokia thème ETUDE DE LA GESTION ET VALORISATION DES FIENTES PAR Le LOMBRICOMPOSTAGE DANS LA WILLAYA DE CONSTANTINE page 18. 19

[13] : Techno Vol. 29, NO2 – 2006 Contexte, atouts et faiblesses des effluents porcins et avicoles destinés à être exportés

[14] : Itavi juin 2013 Estimation des rejets d'azote – phosphore - potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles page 11 et 12

[15] : Aboubakar, Z. Boli et C.M.F. Mbofung « Etude du potentiel biogaz des déjections animales : bouses de bovins et fientes de volailles d'un centre zootechnique à Maroua – Cameroun » Revue des Energies Renouvelables Vol. 19 N°3

[16] : Aké Hermann Thierry BIEKRE Bi Tra TIE et Denezon Odette DOGBO « Caractéristiques physico-chimiques des composts à base de sous-produits de ferme de Songon en Côte d'Ivoire » 2018 International Formulae Group

[17] : Luc Gérard ONANA ONANA « Fertilisation par le fumier de poule : l'expérience de Nkolondom » Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) et parallèlement membre du réseau AGRIDAPE Cameroun

CHAPITRE 3

PHÉNOMÈNE D'ADSORPTION APPLICATION AU TRAITEMENT DES EAUX USÉES

3.1 Introduction

L'augmentation des activités industrielles engendre une pression grandissante sur les réserves en eau douce de la planète. Ces activités génèrent une grande diversité de produits chimiques qui se déversent dans le cycle de l'eau. Les rejets industriels et hospitaliers contenant des produits toxiques sont devenus très préoccupants. Pour réduire l'apport de ces substances dans les eaux, des traitements avancés sont nécessaires. Parmi ce traitement on site l'adsorption.

En effet, toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant les atomes et molécules passant à proximité c'est ce qu'on appelle l'adsorption.

3.2 Généralités sur l'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquide se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses. Elle est favorisée si la masse moléculaire de la molécule adsorbée est élevée et encore si la taille des grains est d'autant plus faible [1].

En raison de ses propriétés physiques inhérentes, grande superficie, structure microporeuse, capacité élevée d'adsorption et réactivité de surface, l'adsorption utilisant le charbon actif granulaire (CAG) ou le charbon actif en poudre (CAP) avait suscité une attention considérable pour le déplacement des polluants organiques et inorganiques de l'eau à traiter [2].

3.3. Les différents types d'adsorption

Selon la nature des forces impliquées, on distingue deux types principaux d'adsorption : l'adsorption chimique et l'adsorption physique.

3.3.1 L'adsorption chimique : (Chimisorption)

L'adsorption chimique ou chimisorption ou encore adsorption activée, résulte d'une interaction chimique qui se traduit par un transfert d'électron entre le solide et l'adsorbat. Il y a alors formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant [3].

Les énergies mises en jeu sont importantes et le processus est généralement irréversible, on ne peut pas récupérer la substance adsorbée sous sa forme initiale suite à une désorption [4].

Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface adsorbante est chimiquement adsorbée, les autres couches, dans le cas où elles existent, sont retenues par l'adsorption physique.

3.3.2 L'adsorption physique : (Physisorption)

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals.

Du point de vue énergétique, la physisorption se produit aux basses températures avec des énergies faibles. Elle correspond à un processus réversible (équilibre dynamique d'adsorption et de désorption) et ne conduit pas à une modification de l'identité chimique de la molécule adsorbée.

Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface adsorbante peut-être recouverte de multiples couches moléculaires du produit adsorbé. Le tableau (4-1) donne une idée comparative entre ces deux types d'adsorption [5].

Tableau 3.1: Comparaison des propriétés entre les types d'adsorption [5]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Température	Basse	Elevée
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	>10 Kcal/mol
Liaison	Physique	Covalente
Processus	Non spécifique	spécifique
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	lente
Formation	Multicouches	Monocouche

3.4 Principe de l'adsorption

L'adsorption définit la propriété de certains matériaux de **fixer à leur surface** des ions ou des molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) d'une manière plus ou moins réversible. Il y a transfert de matière de la phase aqueuse ou gazeuse vers la surface solide.

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes, intervenant chacune dans l'expression de la vitesse totale comme le montre la figure 4.1 : [6]

- 1) Transfert de la particule de la couche externe vers l'interne.
- 2) Déplacement de l'eau liée jusqu'au contacte charbon actif.
- 3) Diffusion à l'intérieure du charbon sous l'influence de gradient de concentration.
- 4) Adsorption dans un micropore, cette étape est très rapide.

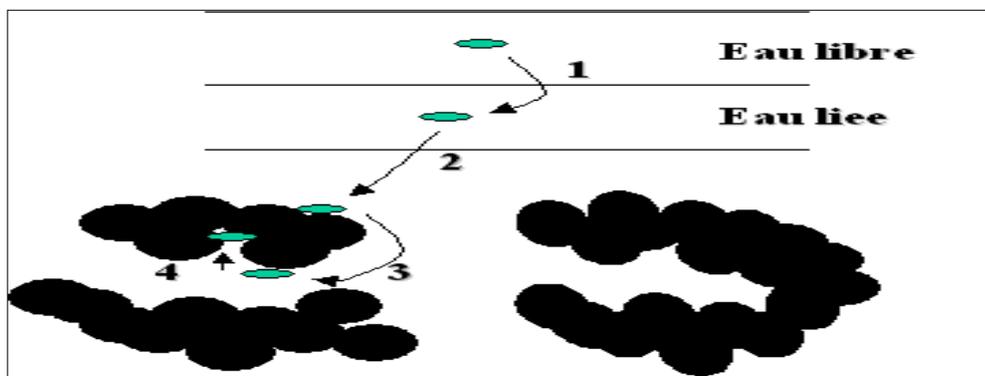


Figure 3.1: Mécanisme du transport d'un adsorbant au sein d'un grain du solide [6]

3.5 Les isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse). Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées en réacteur statique. Elles permettent essentiellement de déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat et d'identifier le type d'adsorption [5]

3.5.1 Les différents types d'isotherme

- **Isotherme de type I**

L'interprétation classique de cette isotherme qui est relative à une adsorption pour une couche mon moléculaire complète adsorbée physiquement ou chimiquement sur un solide microporeux de diamètre inférieur à 25Å. [8]

- **Isotherme de type II**

C'est l'isotherme la plus fréquemment rencontrée. Elle s'obtient dans le cas où les poly couches n'apparaissent que lorsque la surface est totalement recouverte d'une couche mon moléculaire. Le point d'inflexion de l'isotherme indique que la première couche est totalement saturée. La poly couche peut alors se formée et le nombre de poly couche peut être important au fur et à mesure que la pression relative augmente.

- **Isotherme de type III**

Cette isotherme est relativement rare et indique la formation de couches poly moléculaires dès le début de l'adsorption avant que la surface ne soit recouverte d'une couche mon moléculaire. Un tel comportement suggère que la surface n'est pas homogène et que l'adsorption se fait sur des sites préférentiels où les forces d'attraction sont les plus intenses. Les isothermes de type I, II et III sont réversibles, la désorption suit le même chemin que l'adsorption.

- **Isotherme de type IV**

La pente croît à des pressions relativement élevées, ce qui indique que les pores sont totalement remplis. Comme pour l'isotherme de type II, la poly couche démarre quand la monocouche est totalement réalisée ; il arrive un moment où il y a suffisamment d'épaisseur de couche à l'intérieur du pore pour former un ménisque. Quand les pores sont complètement remplis de liquide, l'adsorption se localise à la surface des grains. La quantité adsorbée ne varie alors plus beaucoup, d'où la présence d'un palier.

• **Isotherme de type V**

Cette isotherme donne aussi, comme l'isotherme de type IV, lieu à une hystérésis. Elle est similaire à l'isotherme de type III aux faibles pressions, c'est-à-dire que la poly couche démarre bien avant que la monocouche ne soit totalement réalisée. C'est une isotherme très rare.

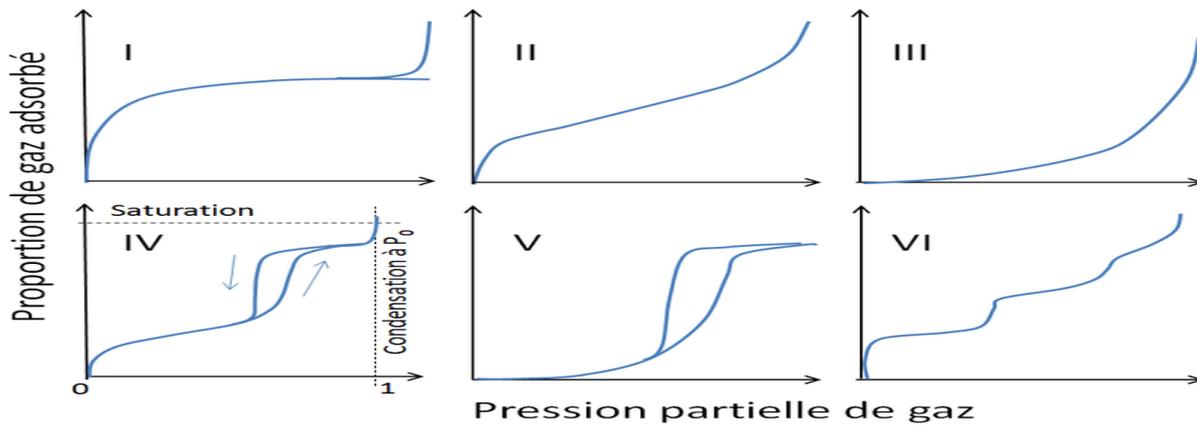


Figure 3.2 : Les différents types d'isotherme d'adsorption

3.5.2 Modélisation des isothermes d'adsorption [8]

Les paramètres obtenus à partir de la modélisation des isothermes fournissent des informations importantes sur le mécanisme d'adsorption, les propriétés de surface et les affinités adsorbant-adsorbé. Les deux modèles à deux paramètres les plus couramment employés sont les modèles de Langmuir et Freundlich, mais aussi pour aller un peu plus loin dans la compréhension des mécanismes d'adsorption, on peut utiliser les modèles à trois paramètres.

❖ **Isotherme de Langmuir**

Ce modèle est très utile pour l'adsorption mon moléculaire d'un soluté en formant une monocouche à la surface d'un adsorbant, ce modèle est utilisé quand les conditions suivantes sont remplies :

- Les sites d'adsorption sur la surface solide sont homogènes d'un point de vue énergétique : on parle de « surface d'adsorption homogène ».
- Chacun de ces sites peut adsorber une seule molécule.
- Il n'y a pas d'interactions entre les molécules adsorbées.

Il est décrit par l'expression suivante :

$$q_e = \frac{q_{max} \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \dots \dots \dots (3.1)$$

Où :

C_e : Concentration à l'équilibre (mg/l) de l'adsorbant,

q_e : quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g),

q_{max} : capacité maximale d'adsorption théorique (mg/g).

K_L : constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption (l/mg).

Sa formule linéaire s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_{max} \times K_L} \dots \dots \dots (3.2)$$

L'équation de Langmuir peut être exprimée par un paramètre d'équilibre adimensionnel appelé, RL défini par :

$$R_L = \frac{1}{(1+K_L C_0)} \dots \dots \dots (3.3)$$

Où :

C₀ : la concentration initiale de l'adsorbat.

Si RL = 0 l'isotherme est irréversible ; si (0 < RL < 1) alors elle est favorable, si (RL = 1) elle est linéaire et si (RL >1) elle est défavorable

❖ **Isotherme de Freundlich**

L'isotherme de FREUNDLICH a été présentée en 1926 et repose sur les hypothèses suivantes :

- Les sites actifs ont des niveaux d'énergie différents.
- Chaque site actif peut fixer plusieurs molécules.
- Le nombre de sites actifs n'est pas déterminé

L'équation empirique de FREUNDLICH est la suivante :

$$q_e = k_f \cdot C_e^{\frac{1}{n_f}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Où :

C_e : Concentration à l'équilibre (mg/l) de l'adsorbant,

q_e : quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g),

K_f, n : des constantes de Freundlich,

K_f : est une indication de la capacité d'adsorption de l'adsorbant,

n : représente l'intensité d'adsorption et indique si l'adsorption est favorable.

Si n=1 adsorption linéaire, si n<1 adsorption chimique et si n>1 adsorption physique est favorable

Les paramètres *K_f* et *n_f* sont déterminés à partir de la forme linéaire de l'isotherme en traçant Log q_e = f (Log C_e). La linéarisation de cette équation implique un passage des termes sous forme logarithmique :

$$\text{Log}q_e = \text{Log}k_f + \frac{1}{n_f} \text{Log}C_e \dots \dots \dots (3.5)$$

❖ **Isotherme de Temkin**

La dérivation de l'isotherme de Temkin suppose que l'abaissement de la chaleur d'adsorption est linéaire plutôt que logarithmique, comme appliqué dans l'équation de Freundlich. L'isotherme de Temkin a été généralement présentée par l'équation suivante :

$$q_e = (RT/bT) \cdot \ln(ATCE) \dots \dots \dots (3.6)$$

Où :

bT et **AT** sont des constantes d'isotherme de Temkin ;

R : constante de gaz l'universel (8.314 J /mol·K) ;

CE : la concentration à l'équilibre des ions métallique (mg/l) ;

T : la température absolue

3.5.3 Cinétique d'adsorption

La cinétique d'adsorption est le second paramètre indicateur de la performance épuratoire d'un adsorbant. Elle permet d'estimer la quantité de polluants adsorbée en fonction du temps. La cinétique fournit des informations relatives au mécanisme d'adsorption et sur le mode de transfert des solutés de la phase liquide à la phase solide.

❖ **Modèles théoriques de la cinétique d'adsorption**

Pour modéliser la cinétique d'adsorption, deux modèles empiriques sont souvent utilisés : pseudo premier ordre et pseudo second ordre.

a) Modèle de la cinétique du pseudo premier ordre (modèle de Lagergren)

Le modèle du pseudo premier ordre, établi par Lagergren, est la première équation de vitesse décrivant la cinétique d'adsorption d'un couple adsorbât-adsorbant. Elle est basée sur la quantité adsorbée. La vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à l'écart entre la quantité adsorbée à l'équilibre q_e et celle adsorbée à l'instant t. L'équation de pseudo premier ordre est décrite selon l'équation :

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \dots \dots \dots (3.7)$$

Avec

q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

q_t : quantité de soluté adsorbé à l'instant t (mg/g)

K₁ : constante de vitesse du pseudo premier ordre (1/min).

L'intégration de l'équation pour les conditions initiales $q_t=0$ à $t=0$ donne l'équation :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \dots \dots \dots (3.8)$$

La quantité de soluté adsorbé à l'équilibre q_e et la constante de vitesse du pseudo premier ordre k_1 sont déterminé à partir de la représentation graphique de $\ln(q_e - q_t)$ en fonction du temps

b) Modèle de la cinétique du pseudo second ordre

La vitesse d'adsorption de pseudo second ordre, établi par Blanchard, dépend aussi de la quantité adsorbée à l'équilibre.

L'équation de la cinétique du pseudo second ordre est donnée par l'équation :

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (3.9)$$

Avec

q_e : la quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

q_t : la quantité de soluté adsorbé à l'instant t (mg/g)

K₂ : la constante de vitesse du pseudo second ordre (g/mg min)

L'intégration de l'équation (4.8) avec les conditions limites q_t=0 à t =0 prend la forme linéaire tel que décrit par l'équation :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots (3.10)$$

Le traçage de 1/q_t en fonction du temps t_e donne une courbe linéaire avec une pente de 1/q_e et une ordonnée à l'origine de 1/k₂q_e².

c) Modèle de Diffusion intra-particulaire

La diffusion intra-particulaire est fréquemment l'étape limitante dans beaucoup de processus d'adsorption, particulièrement dans un réacteur agité fermé. La possibilité de la diffusion intra-particulaire peut être explorée en utilisant le modèle de diffusion intra particulaire.

$$q_t = K_i t^{0.5} + C \dots\dots\dots(3.11)$$

Où k_i est la constante de vitesse de diffusion intra particulaire, et C le paramètre de l'équation de Weber et Morris. Le modèle de diffusion intra-particulaire est vérifié lorsque le tracé de q_t en fonction de t^{0.5} donne une relation linéaire, avec une pente égale à K_i et une ordonnée à l'origine égale à C. Si cette droite passe par l'origine, cette étape est dite limitante

3.6 Facteur influençant l'adsorption

Le processus d'adsorption dépend de plusieurs paramètres qui peuvent influencer la capacité et la cinétique de la rétention d'un soluté sur un adsorbant. Il s'agit des paramètres suivants :

❖ **La porosité :**

La porosité d'un matériau adsorbant joue un rôle très significatif dans l'adsorption des composés organiques aromatiques. Le charbon macroporeux a une meilleure capacité d'adsorption que le charbon mésoporeux dans le cas des macromolécules.[10].

La porosité est liée à la répartition de la taille des pores. Elle reflète la structure interne des adsorbants microporeux. [11]

❖ Nature de l'adsorbant :

La capacité d'adsorption de tout charbon actif dépend essentiellement de la nature de la matière première. Les charbons actifs de bonne qualité peuvent être fabriqués à partir de diverses matières premières (bois, noix de coco, ...) [12]

❖ Température :

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique suivant le matériau adsorbant et la nature des molécules adsorbées. Une augmentation de température s'accompagne d'une augmentation de l'adsorption de l'adsorbat par l'adsorbant. [11]

❖ Surface spécifique :

Surface spécifique d'un adsorbant est l'un des facteurs les plus importants pour le phénomène d'adsorption. Plus la surface spécifique est grande, plus l'adsorption est meilleure [4]. Cette surface totale peut être augmentée par un broyage de la masse solide qui multiplie encore sa porosité totale [11]

❖ Masse de l'adsorbant :

La capacité d'adsorption est d'autant plus grande que la masse de l'adsorbant dans la solution est importante [4].

❖ Solubilité :

Plusieurs chercheurs ont montré que les constantes d'adsorption ont tendance à être plus importantes quand la solubilité du composé diminue. Donc les capacités d'adsorption sont inversement proportionnelles à la solubilité.[5]

❖ Polarité :

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant polaire, il faut donc que l'adsorbant et l'adsorbat soient de polarité voisine.[5]

❖ PH :

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption du fait qu'il peut influencer à la fois la structure de l'adsorbant et de l'adsorbat ainsi que le mécanisme d'adsorption. Ce facteur dépend de l'origine des eaux à traiter et du procédé de leurs traitements [4].

Généralement les espèces acides s'adsorbent mieux en milieu acide, tandis que les espèces basiques s'adsorbent en milieu basique [5].

3.7 Différents types d'adsorbant

Il existe de très nombreux types d'adsorbants car les procédés d'adsorption sont divers que ce soit en phase gazeuse ou en phase liquide comme par exemple : séparation de l'oxygène et de l'azote de l'air, purification d'hydrogène, désulfuration du gaz naturel, décoloration des jus sucrés, purification d'effluents, séparation de molécules pour la pharmacie, traitement des eaux...

On distingue cinq grands types d'adsorbants : les zéolithes, les aluminés, les gels de silice, les argiles activées et les charbons actifs.

❖ Les zéolithes :

Les zéolithes sont des aluminosilicates cristallisés microporeux de formule globale $AlO_2M_nSiO_2$ ou « M » représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalinoterreux et $n \geq 1$. [13]

Leur capacité d'adsorption est limitée à cause de leur surface spécifique mais ils ont une bonne sélectivité et ils sont moins sensibles à la chaleur que le charbon actif [6].

❖ Les aluminés :

Les aluminés activés sont des produits de composition approximative $Al_2O_3 \cdot 0.5H_2O$, possèdent une structure poreuse résultant du départ des molécules d'eau. La surface des pores est couverte de groupement $AlOH$, l'adsorption se fait préférentiellement par liaison hydrogène.[13]

❖ Les gels de silice :

Les gels de silice sont préparés à partir de $Si(OH)_4$ en phase aqueuse, obtenu par acidification d'un silicate de sodium, ou bien à partir d'un sol de silice. .[13]

❖ Les argiles activées :

Sont des aluminosilicates de formule brute proche des zéolithes, mais de structure cristalline différente. Ce sont des produits naturels, utilisés surtout pour le séchage. .[13]

❖ La sciure de bois :

La sciure de bois a fait l'objet de nombreux travaux dont le but a été de l'utiliser comme solide adsorbant pour la fixation de divers espèces chimiques (ou polluants) soit sous sa forme naturelle séchée à l'air ambiant [15] ; soit lavée à l'eau et étuvée (100-105°C) puis tamisée. Il y a aussi le traitement chimique ou l'activation chimique de la sciure de bois qui permet l'augmentation de sa capacité d'adsorption, à titre d'exemple : la phosphorylation qui consiste à traiter la sciure de bois par une solution d'acide phosphorique et d'urée [16]. Ce traitement chimique permet l'introduction d'un groupement phosphate dans la cellulose.

Les recherches ont porté sur les sciures des espèces ou arbres différents on peut citer :

Sapin rouge (*Abies magnifica*), manga (*Mangifera indica*), tilleul (*Tilia americana*), épinette (*Picea engelmannii*), pin (*Pinus roxburghii*), cèdre (*Cedrus deodara*), ainsi que *Bassia atifolia* .

De nombreux auteurs ont étudié la biosorption des métaux lourds sur des différentes sciures de bois, parmi ces métaux il y a Cr (VI) Cd (II), Ni (II), Pb (II), Cu (II). La capacité de fixation des métaux est déterminée sous différentes conditions par plusieurs Chercheurs.

Les conditions expérimentales telles que le pH, la granulométrie, la température et le temps de contact influencent le processus d'adsorption. A titre d'exemple la capacité d'adsorption maximale du cuivre est égale à 10,2 mg Cu (II)/g, 7,1mg Cu (II)/g et 46,8mgCu/g sur des sciures de *Mangifera indica*, *Abies magnifica* et *Shukla* et *Sakhardande* respectivement. En ce qui concerne le plomb, le traitement chimique de phosphorylation de la sciure de bois a augmenté

considérablement la capacité d'adsorption maximale elle est passe pour la sciure Picea de 12 mg Pb/g à 224 mg Pb/g.

D'autres études se sont intéressées à l'étude de l'adsorption des colorants industrielles sur de la sciure de bois. La cinétique, la thermodynamique et les isothermes d'adsorption ont été utilisés pour identifier les mécanismes de la rétention.[16].

❖ **Les charbons actifs :**

Le charbon actif est historiquement parlant, le premier matériau adsorbant. Il a été utilisé depuis des milliers d'années pour améliorer le goût de l'eau et pour enlever les odeurs désagréables. Mais les premières applications industrielles ont vu le jour qu'à la fin du dix-huitième siècle dans l'industrie de la canne à sucre.

La deuxième grande utilisation du charbon actif fut la déchloration. En 1910, le premier filtre utilisé par la municipalité, garni de lignite, fut installé à Reading en Angleterre. Le charbon actif est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées. Il se trouve soit sous forme de poudre avec des pores de quelques μm de dimension, soit sous forme de grain. Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : à la vapeur, thermique et chimique [14].

3.8 Application de l'adsorption

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif, obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (on dégage les cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre (on obtient des pores de quelques μm de dimension), soit sous forme de grain. Il peut être régénéré par désorption selon trois procédés (à la vapeur, thermique, chimique).

Parmi les autres applications pratiques faisant appel à l'adsorption, on peut citer :

- La catalyse hétérogène : le phénomène d'adsorption constitue la première étape des réactions nécessitant l'emploi d'un catalyseur solide. Ce phénomène peut alors jouer un rôle prédominant dans la cinétique de la réaction chimique ;
- La chromatographie d'adsorption ;
- La mesure de la surface spécifique des solides poreux et des poudres ;
- La stabilisation des colloïdes ;
- Le stockage de chaleur (via l'adsorption par zéolithes). [15]

3.8.1 Application au traitement des eaux

❖ **En traitement d'affinage :**

Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir des procédés d'ozonation, de filtration sur charbon actif ou de filtration sur membranes (ultrafiltration ou nanofiltration).

L'**affinage** a pour effet l'oxydation et la biodégradation des matières organiques et l'élimination ou l'absorption de certains micropolluants. En outre, il améliore les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité).

L'ozone, outre son grand pouvoir désinfectant (élimination des virus et des spores bactériennes), permet l'oxydation de certains micropolluants organiques (pesticides, composés

aromatiques ...) et transforme les matières organiques naturelles (qui sont ensuite éliminées par le charbon actif biologique) en augmentant leur biodégradabilité.

Le charbon actif est un matériau poreux qui possède une très grande surface spécifique qui permet l'adsorption et la dégradation par voie microbiologique des matières organiques naturelles et des micropolluants organiques (notamment pesticides).

L'utilisation de membranes présentant un seuil de coupure très faible (ultrafiltration ou nanofiltration) commence à être pratiquée en traitement d'affinage. Elles permettent de retenir des molécules de taille importante (ultrafiltration) à petite (ultrafiltration couplée à une injection de charbon actif en poudre, nanofiltration), comme les pesticides [16]

❖ En traitement « tertiaire » :

Les objectifs d'un traitement tertiaire, complémentaire des traitements envisagés ci-dessous, peuvent être de plusieurs natures [16] :

- Amélioration de la qualité d'eau traitée pour respecter les normes de rejet ;
- Réduction des MES et de la DCO colloïdale ;
- Désphosphatation (par précipitation des sels de fer ou d'aluminium, plus rarement avec de la chaux) ;
 - Réduction de la DCO dure ;
 - Décoloration, notamment pour les effluents textiles ;
 - Élimination de composés spécifiques, exemple : pesticides, fongicides, métaux, métalloïdes, AOX, détergents, HC solubles, dérivés nitrés, et sulfonés, divers anions et cations.

3.9 Bibliographie

[1] : ANWAR ELABED « Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique » thèse doctorat l'université de M ouhamed V-AGDAL Rabat 2007.

[2] : KHEMMARI Fariza « Application de deux méthodes électrochimiques : électrocoagulation, electrosorption pour l'élimination du chrome des eaux usées de la tannerie de Rouïba », mémoire de master, 2013

[3] : FILIPA Aleksandravo « Vers un procédé Fenton hétérogène pour le traitement en continu d'eau polluée par des polluants pharmaceutiques » thèse de doctorat de l'université de Toulouse 2014.

[4] YAHIAOUI Nouara « Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium hydroxyapatite et charbon actif » mémoire de magister l'université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2012.

[5] : BOUZIANE Nouzha « Elimination de 2-mercaptobenzothiazole par vois photochimique et par adsorption sur la bentonite et le charbon actif en poudre » mémoire de magister l'université Mentouri de Constantine, 2007.

[6] BARKA Noureddine « Etude comparative des propriétés d'adsorption de quelques micro-polluants sur les phosphates et le charbon actif » mémoire de magister faculté des sciences AGADIR 2004.

[7] : GHERIGUI Nadia, MAIDI Soumia « Élimination de la matière organique de l'eau par adsorption sur charbon actif en poudre » mémoire de magister de faculté des sciences Boumerdes, 2009.

[8] : OUIKENE Samir, CHEMEUR Nawel « Etude comparative entre un adsorbant utilisé à la station de traitement des eaux de Taksebt et des adsorbants préparés à base de grignon d'olive » mémoire de master université MOULOU D MAMMERI TIZI OUZOU 2015

[9] : Benamraoui Faouzia « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture » Mémoire Magister université Ferhat Abbas Setif-1 2014

[10] : NAIB Naima « Etude de procédé d'adsorption du phénol sur du charbon actif à base de grignons d'olive : modélisation par les plans d'expériences » mémoire de magister l'université de Boumerdes, 2007.

[11] : Omar KHELIFI « Etude de l'adsorption du nickel et du cuivre sur un charbon actif préparé à partir des boues de station d'épuration » mémoire de Doctorat Université 8 Mai 1945 Guelma 2017/2018

[12] : CHITOUR Chemseddine « Physico-chimie des surfaces, l'adsorption gaz-solide et liquide-solide » 2^{ème} édition augmentée.

[13] : GHALMI Nouria, SIFER Aicha « Essais d'adsorption du phénol et de cuivre sur charbon actif volarisé à base de grignons d'olive » mémoire de magister, 2006

[14] : ANWAR ELABED « Réactivité thermique et cinétique de dégradation du bois d'arganier application à l'élaboration de charbon actif par activation chimique » thèse doctorat l'université de M ouhamed V-AGDAL Rabat 2007

[15] : Bryant P.S., Petersen J.N., Lee J.M. et Brouns T.M. (1992) Sorption of heavy metals by untreated red fir sawdust. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 34:135,777-788.

[16] : Ajmal M., Khan A.H., Ahmad S. et Ahmad A. (1998) Role of sawdust copper(II) from industrial wastes. *Water Res.* 32(10),3085-3091.

PARTIE
EXPERIMENTAL

CHAPITRE 1

PRÉSENTATION DU SITE DU PRÉLÈVEMENT

1.1 Présentation du site de l'expérimentation

Notre étude a été effectuée au niveau de la société avicole Chérage SPA filiale de groupe avicole du centre, située dans la commune de corso a 6Km à l'ouest de chef-lieu de la wilaya de Boumerdes, La figure 1.1 obtenue de Google Earth, Présente la Localisation du centre



Figure 1.1 : carte géographique du dite de Corso / Google Earth

La société avicole Chérage SPA subdivisé en deux centres :

- ❖ Le centre de production ou unité de production : centre d'élevage des reproducteurs chair de Rouïba
- ❖ Le centre de production : centre d'élevage des poules pondeuses et d'élevage des reproducteurs chair de Corso

Le centre de Rouïba se situe dans la zone industrielle de Rouïba, il est équipé de 36 incubateurs et de 6 éclosoirs d'une même capacité individuelle de 16800 OAC (œufs à couvrir), aussi bien pour les premiers que les derniers. Le processus d'incubation est défini comme étant une chaîne composée de plusieurs manipulations assurées par plusieurs ateliers, ces derniers sont disposés de façon bien ordonnée :

- ❖ La salle de réception : où se font le tri des œufs et la mise en plateaux
- ❖ La salle de conditionnement des œufs à couvrir (OAC) : où sont stockés des œufs.
- ❖ La salle de préchauffage : où se fait la fumigation ou la désinfection des œufs, la température de la salle varie entre 18° – 35°C
- ❖ La salle d'incubation : où s'effectue le deuxième mirage pour éliminer les œufs clairs et les mortalités embryonnaires

- ❖ La salle d'éclosion : ou la température est 37°C et l'humidité relative de 90%
- ❖ La salle de tri des poussins
- ❖ La salle d'expédition ou de livraison des poussins.

Le centre d'élevage des poules pondeuses d'élevage des reproducteurs chair de Corso s'entend sur 24 hectares et possède en son sein 24 bâtiments dans lequel se trouvent des animaux comme le montre la figure 1.2



Figure 1.2 : Aperçu de disposition des bâtiments

Les bâtiments de production sont de types obscurs, ils ont des dimensions de 120 m de longueur, 12m de largeur et d'une hauteur de 3m, ils peuvent contenir en leur sein 5000 poules.

Ces bâtiments sont orientés dans la même direction que les vents dominants, Les bâtiments d'élevage sont équipés avec 40 pendoirs de types individuel, ils sont conçus en deux étages superposés (figure 1.3).



Figure 1.3 : L'intérieur de chaque bâtiment

La capacité instantanée est de 10 sujets à raison d'une poule par nid, chaque fond de nid est recouvert d'une litière en paille, la ventilation est dynamique par la dépression de type longitudinal (tunnel).

L'aliment utilisé provient de l'ONAB (Office National des Aliments de Bétail) converté dans les silos menés avec des chaînes jusqu'aux bâtiments où il est distribué dans les trémies puis dans des chaînes plates pour les poules et spirales pour les coqs

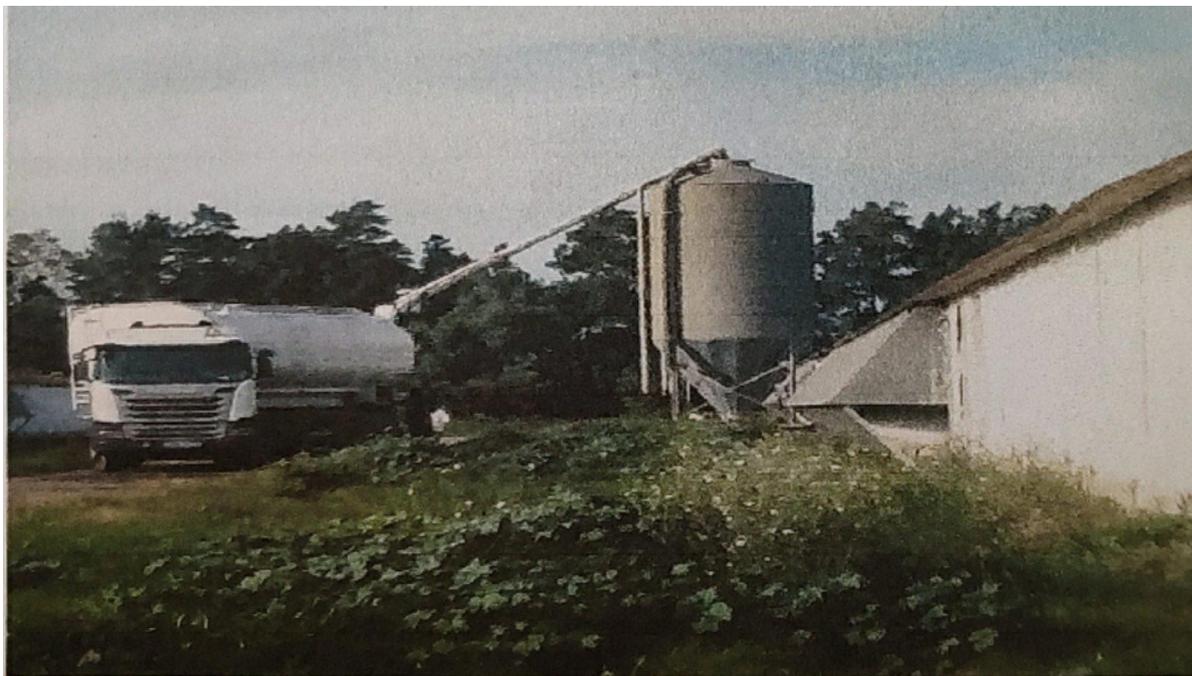


Figure 1.4 : Approvisionnement du silo en aliment

Il est fabriqué à base de maïs et de tourteaux de soja, des compléments minéro-vitaminiques, des antioxydants et des antibiotiques y sont incorporés. L'alimentation en eau potable se fait à partir d'une bêche a eau d'une capacité de 200m³, cette dernière est alimentée a partir d'un forage, chaque aile de bâtiment comporte un bac d'eau de 1000 litres surélevé pour que la distribution soit fait par gravité, les abreuvoirs sont disposés sur trois lignes et chaque ligne comporte vingt abreuvoirs siphoides.

La température à l'intérieur des bâtiments varie entre 22°,25° et 30°C pour favoriser la croissance et une bonne production

Le taux d'humidité est maintenu constant à 70% à l'intérieur des bâtiments tout au long de la période de production par un système de pad-cooling, qui sert à rafraichir l'atmosphère intérieure par refroidissement de l'air chaud extérieur entrant à travers des panneaux des cellules mouillées, l'air humide et froid permet un abaissement considérable de la température interne bâtiment

Pendant L'hiver et les premières semaines des mises en place, les bâtiments sont chauffés grâce à des radiateurs utilisant le gaz de ville ou le gaz butane

Afin d'assurer une bonne désinfection et une bonne prévention des maladies, l'unité dispose à son entrée d'un autoclave pour le passage des véhicules et un pédiluve (figures 1.5) la solution utilisée pour l'autoclave et le pédiluve est a base de formol ou d'eau de javel renouvelée tous les deux jours



Figure 1.5 : autoclave

1.2 Objectif

Le but de notre travail est de caractériser les déjections avicoles pour une valorisation. Des essais expérimentaux ont été mené aux laboratoires du département de chimie à l'université M'Hamed Bougara de Boumerdes

1.3 Echantillonnage pour la caractérisation des déjections

Le prélèvement a été fait au centre d'élevage des reproducteurs chair et de poules pondeuses de Corso le 22/04/2021, Les déjection était sous forme de bloc solide mélangé avec la paille, deux types de déjection était disponible : les déjections fraîches et les déjection sèches qui dattais de 3mois (figures1.6 et 1.7)



Figure 1.6 : Le tas de déjection sèches



Figure 1.7 : Le tas de déjection fraiche

CHAPITRE 2

MATERIEL - METHODOLOGIE

2.1 Introduction

La revue bibliographique a permis de cerner préliminairement les principaux paramètres qui influencent le phénomène d'adsorption du BM sur différents types de d'adsorbant. Pour évaluer l'effet de ces paramètres sur l'adsorption du BM sur déchet avicole, différents matériels et produits ont été utilisés. Le présent chapitre présente le matériel et les produits employés ainsi que la méthodologie suivie pour l'étude de l'adsorption BM sur ce déchet.

2.2 Produits et matériel utilisés

2.2.1 Produits utilisés

Le tableau 2.1 présente les différents produits utilisés pour l'étude d'adsorption du BM sur le déchet avicole.

Tableau 2.1 : Produits utilisés pour l'étude d'adsorption du BM sur le déchet avicole

Nom du produit	Détails
Déchet avicole à l'état brut et lavé	Déchets issus des bâtiments des poulaillers du centre ORAC de CORSO à Boumerdes
Sciure de bois	La sciure de bois rouge a été acquise de la scierie de la zone industriel de Dar El Beida C'est la sciure, issue d'une première transformation
Le Bleu de Méthylène (BM)	Colorant de Marque (Biochem Chemopharma) de formule $C_{16}H_{18}ClN_3SXH_2O$, pris comme polluant model est utilisé sans aucune purification préalable
Acide chlorhydrique (HCl)	0.1N
Hydroxyde de sodium (NaOH)	0.1N

2.2.2 Instruments utilisés

On a commencé notre travail par une caractérisation de l'adsorbant utilisé, pour cela le tableau 2.2 résume l'essentiel de caractéristiques instrumentales utilisées.

L'étude d'adsorption du BM sur le déchet a nécessité l'utilisation d'un pH-mètre, un agitateur et un spectromètre. Le tableau 2.3 présente les caractéristiques de ces derniers.

Tableau 2.2 : Matériel utilisé lors de la caractérisation de l'adsorbant

Paramètres	Méthodes	Matériel
pH et Températures	Electrométrie (Norme NF ISO 10390)	-Electrodes de verre -Agitateur magnétique (Labtech) -Thermomètre
Taux d'humidité Et Taux de Cendre	- Séchage à 105°C - Calcination à 650°C	Etuve (Binder) Four (Stuart) Dessiccateur
Analyse quantitative élémentaire	Fluorescence	XRF (Thermo Niton)
Groupe ment fonctionnels	Vibration Optique	FTIR (Perkin Elmer)
Surface Spécifique	Adsorption	BET (ASAP2010Micromeritics)
La porosité et la morphologie		MEB (Phillips ESEM XL 30 FEG)
DCO	Bichromate de potassium	ISO 6060 -1989

Tableau 2.3 : Matériel utilisé lors de l'étude d'adsorption du BM sur le déchet

Instrument	Détails
PH-mètre	Hanna préalablement calibré
Agitateur	LABTECH
Spectromètre Visible	Type HACH VIS-7220G

2.3 Méthodologie

La première partie de notre étude a été consacrée à la caractérisation physicochimique des matériaux étudiés. La deuxième partie a été dédiée aux essais d'adsorption du bleu de méthylène sur les différents matériaux étudiés en phase aqueuse et en mode batch.

2.4 Caractérisation du déchet avicole

❖ Analyse physico-chimique

a) Granulométrie :

Pour arriver à la granulométrie voulue le déchet a subi plusieurs opérations données par ce diagramme.

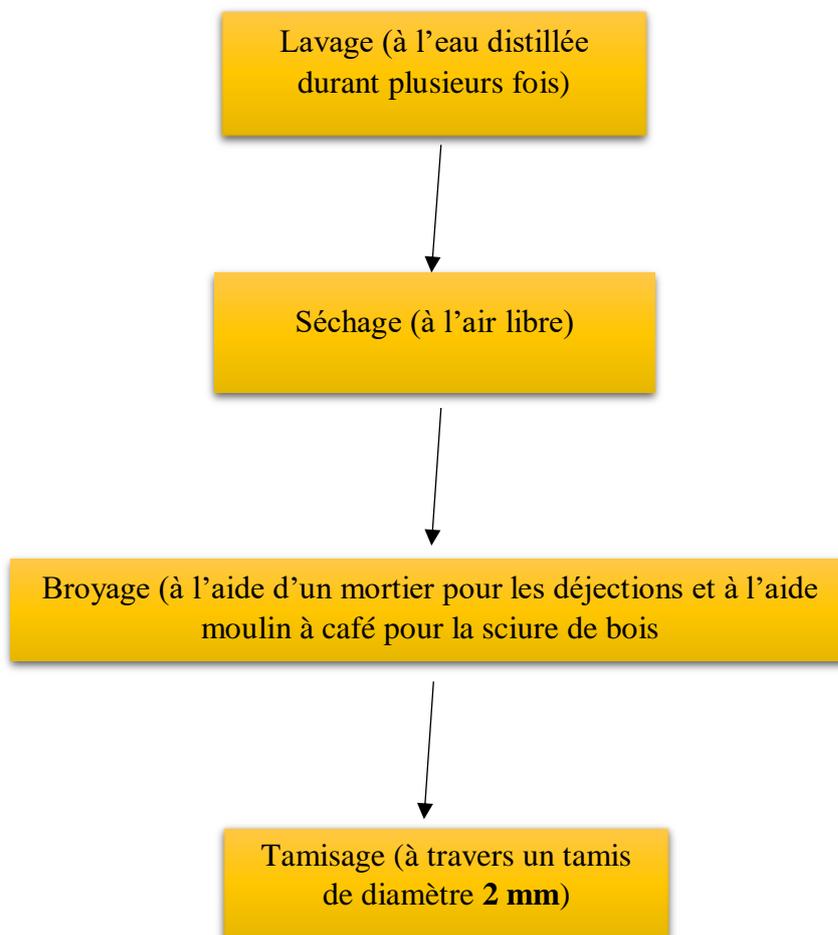


Figure 2.1 : diagramme représentatif des différentes étapes de préparation de l'adsorbant

b) L'humidité :

Pour déterminer le taux d'humidité sec de l'adsorbant, un creuset vide a été pesé (m). Puis une masse ($m_{\text{humide}} = 1 \text{ g}$) des différents adsorbants utilisés sont mis dans le creuset. L'échantillon est placé dans une étuve à 105°C , jusqu'à ce que le poids de l'échantillon demeure constant.

L'échantillon est refroidi au dessiccateur puis pesé de nouveau (m_e). La masse (m_{sec}) est la masse d'adsorbant sec dans le creuset ($m_{sec} = m_e - m$).

Se fait avec une masse d'environ 1g de chaque échantillon (séchée à l'air) est pesée sur une balance analytique. Elle est ensuite étuvée à la température de 105°C pendant 24 heures. Le taux d'humidité est obtenu par différence de masse entre l'adsorbant avant et après séchage à l'étuve. La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$\% H = (m_{sec}) / m_h \times 100$$

%H : pourcentage de l'humidité.

A0 : l'adsorbant avant séchage (g).

A1 : l'adsorbant après séchage (g).

c) Le Taux de cendre

Est déterminé sur la matière sèche des adsorbants mis dans des creusets qui sont portés dans un four à moufle à 550°C pendant environ 02 heures. Ces creusets sont ensuite pesés après avoir été refroidis dans un dessiccateur.

Le taux de cendre (TC) est exprimé en pourcentage par rapport à la matière sèche.

$$TC (\%) = (M_2 - M_1) \times 100 / M_0 \times 100 = 100 - H$$

M0 : masse en gramme de la prise d'essai.

M1 : masse en gramme de l'adsorbant d'incinération.

M2 : masse en gramme de l'adsorbant d'incinération et du résidu.

H : teneur en eau (%) en masse de l'échantillon.

d) Détermination de la surface spécifique par la méthode BET

Les surfaces spécifiques des adsorbants ont été obtenues à l'aide d'un appareil Micromeritics ASAP 2010

e) La spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

Le phénomène d'absorption des radiations dans le domaine de l'infrarouge est lié aux énergies de vibrations moléculaires. Les groupements fonctionnels sont indiqués par des fréquences ou bandes caractéristiques qui sont relativement les mêmes pour la plupart des composés chimiques, leurs variations d'un composé à un autre est très faible, donc ils peuvent être analysés dans la matière.

Les spectres infrarouges de ces échantillons ont été enregistrés (température ambiante 25°C) entre 4000-400 cm^{-1} pour une résolution spectrale de 2 cm^{-1} avec un spectromètre FTIR (Perkin Elmer),

f) Analyse par fluorescence des rayons X (FX)

Xrf est une technique analytique permettant d'obtenir des analyses quantitatives élémentaires.

Les analyses ont été effectuées sur un XRF de marque (Thermo Niton) au **Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)**

Le MEB est une technique microscopique qui donne la microstructure d'un matériau en trois dimensions. L'échantillon métallisé placé dans un plot, est bombardé par un flux d'électrons qui restituent les détails de la structure des pores à divers grossissements allant jusqu'à 50 000 fois.

La porosité est l'un des paramètres les plus importants intervenant dans le phénomène de l'adsorption. En ce qui concerne notre étude, la détermination de la porosité de notre matière a été réalisée par le microscope électronique à balayage (MEB) de marque (Phillips ESEM XL 30 FEG)

Composition atomique (EDX)

La composition élémentaire de nos matériaux, a été déterminée par l'analyse dispersive en énergie (EDX) (Energy Dispersive X-rays Spectroscopy (EDXS)) : détermination des compositions des grains avec une résolution de 0,1 mm)

2.5 Essais d'adsorption du BM sur les différents matériaux utilisés

Cette partie est consacrée aux essais d'adsorption du colorant bleu de méthylène (qualité analytique) sur les différents matériaux (déchet brut, déchet lavé et mélange sciure/déchet). Les essais d'adsorption de BM sont réalisés en mode batch.

Tous les analyses ont été effectuées au niveau du centre de recherche nucléaire de Draria (CRND).

❖ Étude des isothermes et cinétique

Pour déterminer l'isotherme et la cinétique d'adsorption du BM par les différents adsorbants utilisés quatre solutions sont préparées, nécessaires pour l'optimisation des différents paramètres : (masse de l'adsorbant, volume de l'adsorbat, concentration de l'adsorbat et enfin le pH du milieu). L'ensemble de l'adsorbant et la solution de BM sont mélangés pendant 3 h avec l'agitateur (Figure 2.2).



Figure 2.2 : Dispositif expérimental L'ensemble de l'adsorbant et la solution de BM

Le pH des solutions est ajusté et il est mesuré à l'aide du pH-mètre. Des prélèvements d'échantillons (5mL) sont effectués à des intervalles de temps prédéfinis. Pour déterminer la concentration en BM dans ces échantillons, ces derniers sont filtrés, puis analysés par le spectromètre. Les prélèvements des échantillons sont effectués chaque 15 mn d'intervalle.

Les mesures d'absorbance ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre type HACH spectrophotomètre UV/Visible. La longueur d'onde maximum d'absorption du BM est 664 nm. La quantité adsorbée est calculée en utilisant la formule suivante :

$$Q_{ads} = (C_0 - C_e) / m \quad (2.1)$$

Avec : C_0 : Concentration initial à $t=0$ en (ppm)

C_{eq} : Concentration à l'équilibre en (ppm)

m : Masse de la poudre par unité de volume de solution en (g/L).

Une courbe d'étalonnage est effectuée et est donnée en annexe.

❖ Paramètres influençant l'équilibre d'adsorption du BM sur les DAB, DAL et DAM

a) Effet de la concentration initiale en BM

L'effet de la concentration initiale du BM sur l'adsorption de ce dernier par les différents adsorbants (DAB, DAL et DAM) est étudié avec cinq solutions, ayant des concentrations différentes, comme le montre le tableau 2.4. Les adsorbants (DAB, DAL et DAM) et la solution de BM sont mélangés pendant 3h avec l'agitateur. Le pH des solutions n'est pas ajusté. Des prélèvements d'échantillons (5mL) sont effectués à des intervalles de temps prédéfinis (chaque 15 mn). Ces échantillons sont filtrés puis analysés par le spectromètre pour déterminer la concentration en BM dans le filtrat.

Tableau 2.4 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation de la concentration du BM)

Solution	1	2	3	4	5
Différentes masses de l'Adsorbant (déchet brut (DB), déchet lavé (DL), mélange déchet/sciure (DS))	250mg				
BM	25 (ppm)	50 (ppm)	100 (ppm)	150 (ppm)	200 (ppm)
pH du milieu	pH initial (6)				
Volume de l'adsorbat	500mL				
Température	Ambiante (20°C)				
Agitation	Modérément (120tpm)				

b) Effet de la masse initiale des différents adsorbants utilisés (DB, DL et DM)

L'effet de la masse initiale des différents adsorbants (DAB, DAL et DAM) sur l'adsorption du BM est étudié avec quatre solutions, ayant une concentration connue, comme le montre le tableau 2.5. Les adsorbants (DAB, DAL et DAM) et la solution de BM sont mélangés pendant 3h avec l'agitateur. Le pH des solutions n'est pas ajusté. Des prélèvements d'échantillons (5mL) sont effectués à des intervalles de temps prédéfinis (chaque 15 mn). Ces échantillons sont filtrés puis analysés par le spectromètre pour déterminer la concentration en BM dans le filtrat.

Tableau 2.5 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation de la masse de l'adsorbant)

Solution	1	2	3	4
BM (ppm)	50			
Différentes masses de l'Adsorbant (déchet brut (DB), déchet lavé (DL), mélange déchet/sciure (DS))	150	200	250	300
pH du milieu	PH initial (6)			
Volume de l'adsorbat (ml)	500(DAB)		250(DAL)	
Température	Ambiante (20°C)			
Agitation	Modérément (120tpm)			

c) Effet du volume de l'adsorbat (BM)

L'effet du volume initial du BM sur l'adsorption de ce dernier sur différents adsorbants (DAB, DAL et DAM) est étudié avec quatre solutions, ayant une concentration connue, la masse de chaque adsorbant es fixée comme le montre le tableau 2.6. Les adsorbants (DAB, DAL et DAM) et la solution de BM sont mélangés pendant 3h avec l'agitateur. Le pH des solutions n'est pas ajusté. Des prélèvements d'échantillons (5mL) sont effectués à des intervalles de temps prédéfinis (chaque 15 mn). Ces échantillons sont filtrés puis analysés par le spectromètre pour déterminer la concentration en BM dans le filtrat.

Tableau 2.6 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation du volume du BM)

Solution	1	2	3	4
BM (ppm)	50			
Volume de l'adsorbant (ml)	100	250	500	750
pH du milieu	PH initial (6)			
Masse de l'Adsorbant (déchet brut (DAB), déchet lavé (DAL), mélange déchet/sciure (DAM) (mg)	250			
Température	Ambiante (20°C)			
Agitation	Modérément (120tpm)			

d) Effet du pH

L'influence du pH sur l'adsorption du BM par (DAB, DAL et DAM) est étudiée avec trois Solutions de BM de pH différents, comme le montre le tableau 2.7. L'ensemble des différents adsorbants (DAB, DAL et DAM) et de la solution de BM sont mélangées pendant 3 h avec l'agitateur. Le pH est ajusté au moyen des solutions NaOH et HCl de concentration 1N. Des prélèvements d'échantillons (5mL) sont effectués à des intervalles de temps prédéfinis (chaque 15 mn). Ces échantillons sont filtrés puis analysés pour déterminer la concentration en BM dans le filtrat.

Tableau 2.7 : Solutions préparées pour l'étude d'isothermes et la cinétique d'adsorption du BM par l'adsorbant (variation du ph)

Solution	1	2	3
BM (ppm)	50		
pH du milieu	6	8	11
Masses de l'Adsorbant (déchet brut (DB), déchet lavé (DL), mélange déchet/sciure (DS) (mg)	250		
Volume de l'adsorbant (ml)	500		
Température	Ambiante (20°C)		
Agitation	Modérément (120tpm)		

❖ Etude thermodynamique de l'adsorption

Afin d'évaluer et de comprendre si les processus d'adsorption étudiés étaient spontanés ou non ; exothermiques ou endothermiques des essais ont été menés à différentes températures à savoir 20,40 et 60°C.

Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre sont : l'enthalpie libre standard

ΔG° , l'enthalpie standard ΔH° et l'entropie standard ΔS° .

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Caractérisation avant et après adsorption

3.1.1 Caractéristiques de l'adsorbant utilisé

L'objectif de cette section du travail est de caractériser les déjections avicoles provenant de l'ORAC à corso au niveau de la wilaya de Boumerdes et aussi de la sciure acquise par la scierie de la zone industriel de dar el Beida. Ceci consiste à déterminer le taux d'humidité et le taux de cendre. La granulométrie des particules a été prise à 2 mm.

3.1.2 Analyses physico-chimiques

3.1.2.1 Taux d'humidité

Le taux d'humidité reflète la quantité d'eau contenue dans la sciure de bois les déchets à base de déjections des poules pondeuses. Le taux d'humidité trouvé est de l'ordre de 88.62%, 86.60% et 89.12% pour la sciure de bois, le déchet brut et le déchet lavé respectivement

3.1.2.2 Taux de cendre

Le taux de cendre permet de connaître la part de matière minérale dans la sciure de bois et le déchet.

Le taux de cendre des déchets est de 60.92% pour le brut. Généralement, le bois à un taux de cendre moyen compris entre 0,5 et 8 %. Plus le bois contient des écorces, plus le taux de cendre est élevé [1].

3.1.3 Détermination de la surface spécifique par la méthode BET

La surface spécifique du matériau à l'état brut et après lavage dans le cas du déchet et à l'état lavé de la sciure à l'aide de la méthode BET (Brunauer, Emmet and Teller) est donnée par le tableau 3.1. Ce dernier mentionne aussi la valeur du volume d'adsorption (V_m) et de l'aire moléculaire (σ_m) de chaque adsorbant.

Tableaux 3.1 : Résultats de la BET

	Sciure de bois	Déchet Lavé	Déchet brut
Surface spécifique BET S_{BET} (m^2/g)	0.6552	0.7841	120.3562
Volume moléculaire V_m (cm^3/g)	0.150519	0.180114	27.647765
Aire moléculaire σ_m (nm^2)	0.1620	0.1620	0.1620

La surface spécifique ($m^2.g^{-1}$) représente la surface accessible par unité de masse, elle correspond à la somme de la surface interne des pores et de la surface externe des grains.

V_m : Le volume dans les conditions standards de pression et de température, de gaz nécessaire pour recouvrir la totalité du solide d'une couche mono-moléculaire de gaz (cm^3/g) ;

σ_m : La surface occupée par une molécule, dans le cas de l'azote, $\sigma_m = 0,162 nm^2$.

A partir de ce tableau on peut remarquer que la surface spécifique S_{BET} la plus grande est attribuée au déchet brut, par contre le déchet lavé et la sciure renferment presque la même surface, Cette augmentation des surfaces spécifiques procure au matériau une plus grande capacité d'adsorption.

Ce résultat est très prometteur quant au pouvoir adsorbant de notre déchet.

3.1.4 La spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

La spectroscopie est une technique importante utilisée pour l'identification des groupes fonctionnels caractéristiques de la surface de l'adsorbant [2]. Ces groupes sont souvent responsables des liaisons adsorbant-adsorbat. Les spectres d'analyse par infrarouges des différents adsorbants des matériaux bruts (déchet) et les matériaux lavés (déchet et sciure) avant les essais d'adsorption sont représentés par la **Figure 3.1** ainsi que celui de l'adsorbat qui est le bleu de méthylène qui est à son tour représenté par la **Figure 3.2**. Les bandes les plus intenses sont reportées dans le **Tableau 3.2**.

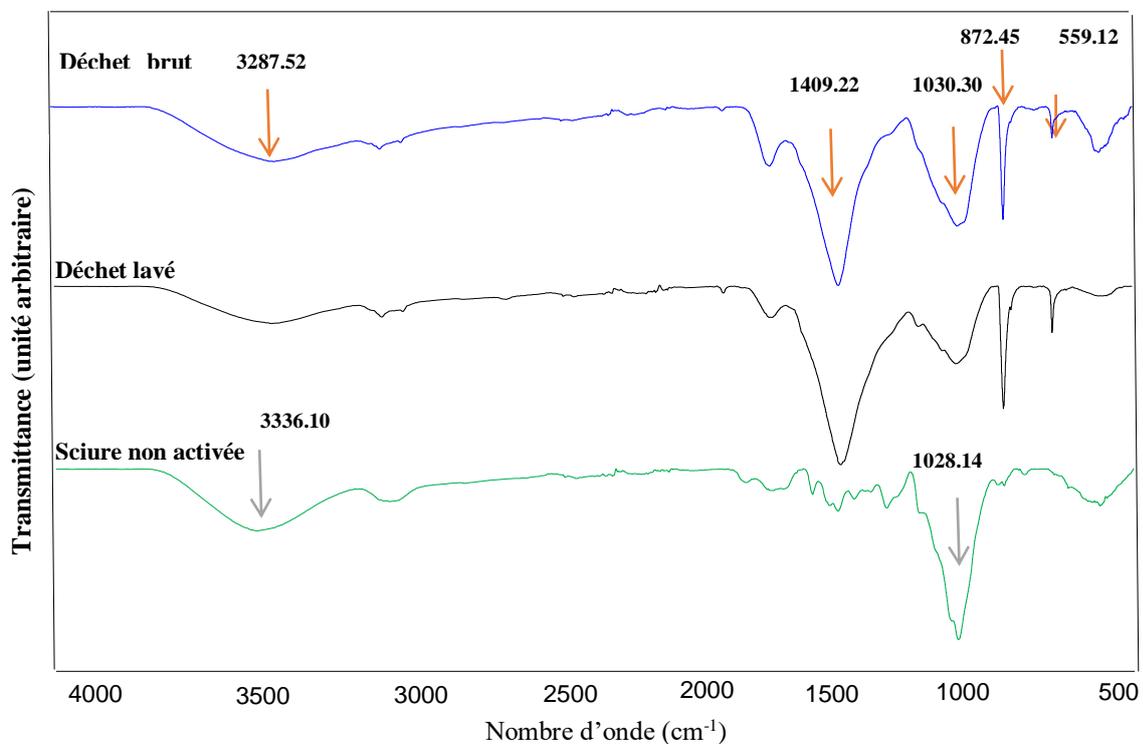


Figure 3.1 : Les spectres d'analyse par infrarouges des différents adsorbants des matériaux

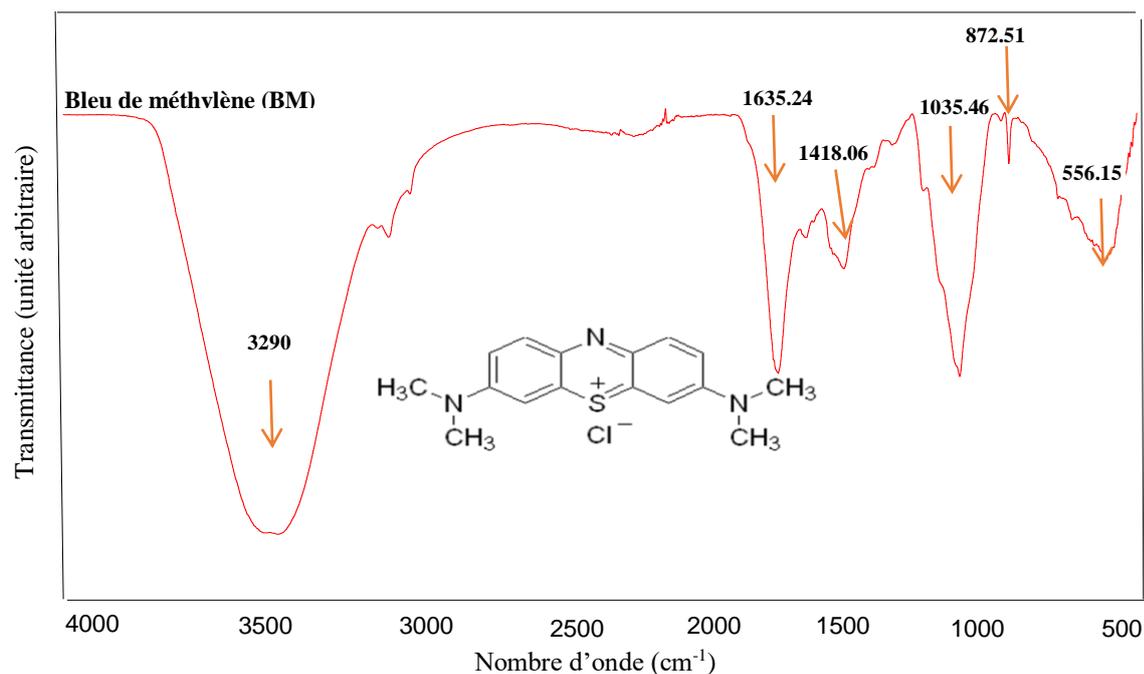


Figure 3.2 : Les spectres d'analyse par infrarouges bleu de méthylène

Tableau 3.2 : Les bandes caractéristiques des adsorbants utilisés déterminées par IRTF.

Composé	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Intensité	Attribution
Déchet brut	3287.52	Faible	N-H (amine secondaire)
	1409.22	Forte	S=O (sulfate)
	1030.30	Large-forte	C-N, O-C (acide carboxylique), C=S (thiocarbonyle), P-OR (phosphates), Si-OR (alkoxysilaine)
	872.45	Forte-fine	S=O (Ester), NH ₂ , NH(amine)
Déchet lavé	559.12	Faible	S-S (disulfure)
Même résultat qu'avec le brut			
Sciure de bois non activée	3336.10	Moyenne	O-H
	1028.14	forte	C-O-C, -OH(polysaccharide)
Bleu de méthylène	3290	Forte et large	C-H
	1635.24	Forte	C=C, NH ₂
	1418.06	Moyenne	C-O-H
	1035.46	Forte	C-N (amine) , S=O (sulfoxide)
	872.51	Faible	NH ₂ et N-H
	556.15	moyenne	S-S (disulfure)

Les adsorbants après essais d'adsorption ont été analysés par IRTF à leur tour, ils sont représentés par les **Figures 3.3 et 3.4**.

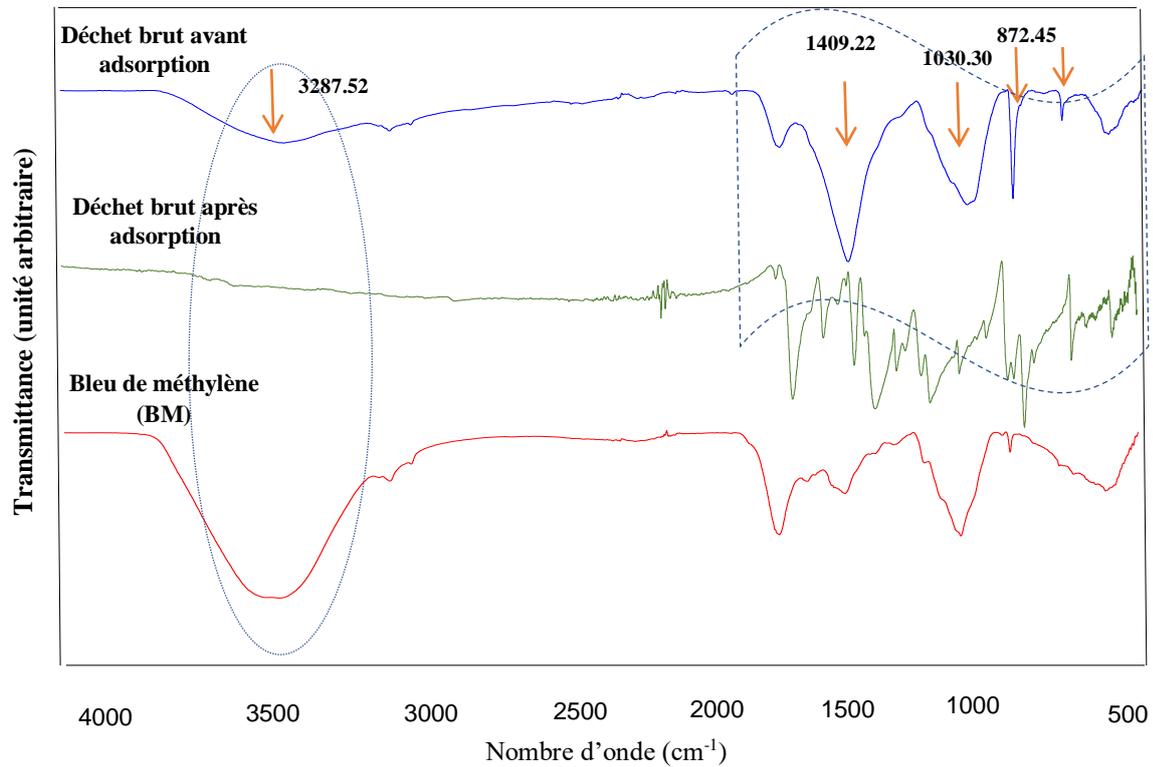


Figure 3.3 : Les spectres d'analyse par infrarouges déchet avicole brut avec le bleu de méthylène

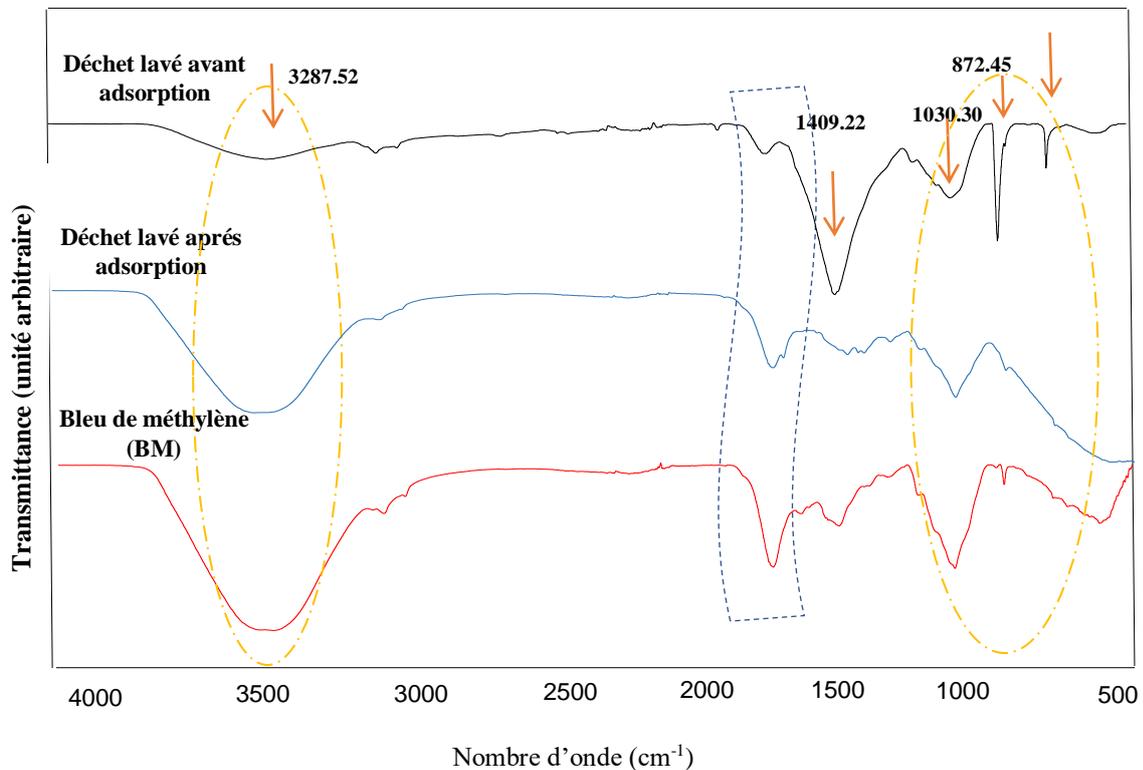


Figure 3.4 : Les spectres d'analyse par infrarouges déchet avicole brut avec le bleu de méthylène

Les bandes de vibration caractéristiques ont été attribuées, principalement en accord avec les données de la littérature [3]. Et en prenant en considération les principales différences entre les spectres IR des différents matériaux. A première vue, les spectres IR des déchets avicoles bruts et lavés ont la même allure mais avec une diminution de l'intensité de l'absorption, en particulier dans le cas de déchet lavé au niveau de la bande localisée à 1030.30 cm^{-1} , mais une diminution qui est presque insignifiante on peut expliquer ça par le fait que l'eau de lavage provoque le départ d'un groupement fonctionnel. Tous les spectres infrarouges révèlent la présence d'une large bande vers 3360 cm^{-1} qui correspond aux vibrations d'élongation de la liaison O-H des structures aromatiques et aliphatiques de phénol, groupe de la lignine et cellulose.

Après les essais d'adsorption les spectres IRTF obtenus et présentés par les **figures 3.3 et 3.4** montrent effectivement la disparition et apparition de quelques bandes ainsi que le déplacement du maximum d'adsorption d'autres bandes se trouvant initialement dans l'échantillon lui-même: pour le cas du déchet brut, ce dernier manifeste plusieurs bandes successives localisées entre 550 cm^{-1} et 1700 cm^{-1} , en effet le pic vers 328.52 cm^{-1} est caractéristique de la vibration d'élongation des groupement amines, a complètement disparu dans le spectre. En outre, son intensité a augmenté dans le spectre de déchet lavé après adsorption,

Si on compare les bandes qui ont apparus dans le spectre du déchet lavée avec les spectres du bleu de méthylène on trouve qu'ils sont presque identiques ce qui est forcément le cas pour la bande 3290 Forte et large cela prouve qu'il a eu une adsorption du bleu de méthylène sur le déchet lavé

3.1.5 Analyse par fluorescence des rayons X (FX)

L'analyse chimique de la poudre de Cactus par fluorescence est présentée dans le tableau 3.3

Tableau 3.3 : Analyse chimique du matériau par Fluorescence

Elément	Déchet Brut	Déchet Lavé	Sciure de bois non activée
	Concentrations (ppm)		
Mg	4225.979	ND	ND
Bal,	796602.375	802302.563	976637.375
Al	ND	1327.697	672.530
Si	7278.726	8032.072	3097.002
P	25934.914	15661.391	703.328
S	8850.407	7234.542	381.907
Cl	5840.933	628.917	722.440
K	21832.271	12157.877	351.601
Ca	127268.492	151573.234	17150.898
Sc	289.072	275.154	ND
Ti	ND	ND	ND
V	ND	ND	26.317
Cr	ND	ND	112.272
Mn	139.678	114.979	ND
Fe	796.062	1167.597	255.913
Co	ND	ND	ND
Ni	ND	ND	ND
Cu	258.167	549.532	56.642
Zn	396.371	511.328	40.779
Rb	12.061	4.508	ND
Sr	288.321	166.337	13.367
Zr	3.081	5.870	17.214
Nb	ND	9.3052	13.086
Mo	4.577	10.633	11.271
Pd	ND	ND	ND
Ag	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND
W	ND	ND	178.083
Hg	ND	ND	ND
Pb	ND	ND	ND

A la lumière des résultats obtenus et présentés par le tableau 3.3, on remarque que nos matériaux renferment des concentrations élevées en : Al, Si, P, S, cl, K, Ca et Fe. Quelques éléments ont été déjà mis en évidence par l'IRTF.

3.1.6 Morphologie par Microscope électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour décrire la microstructure de la surface des échantillons des déchets avicoles et de la sciure de bois, avant et après traitement par adsorption comme le montre la **Figure 3.5**

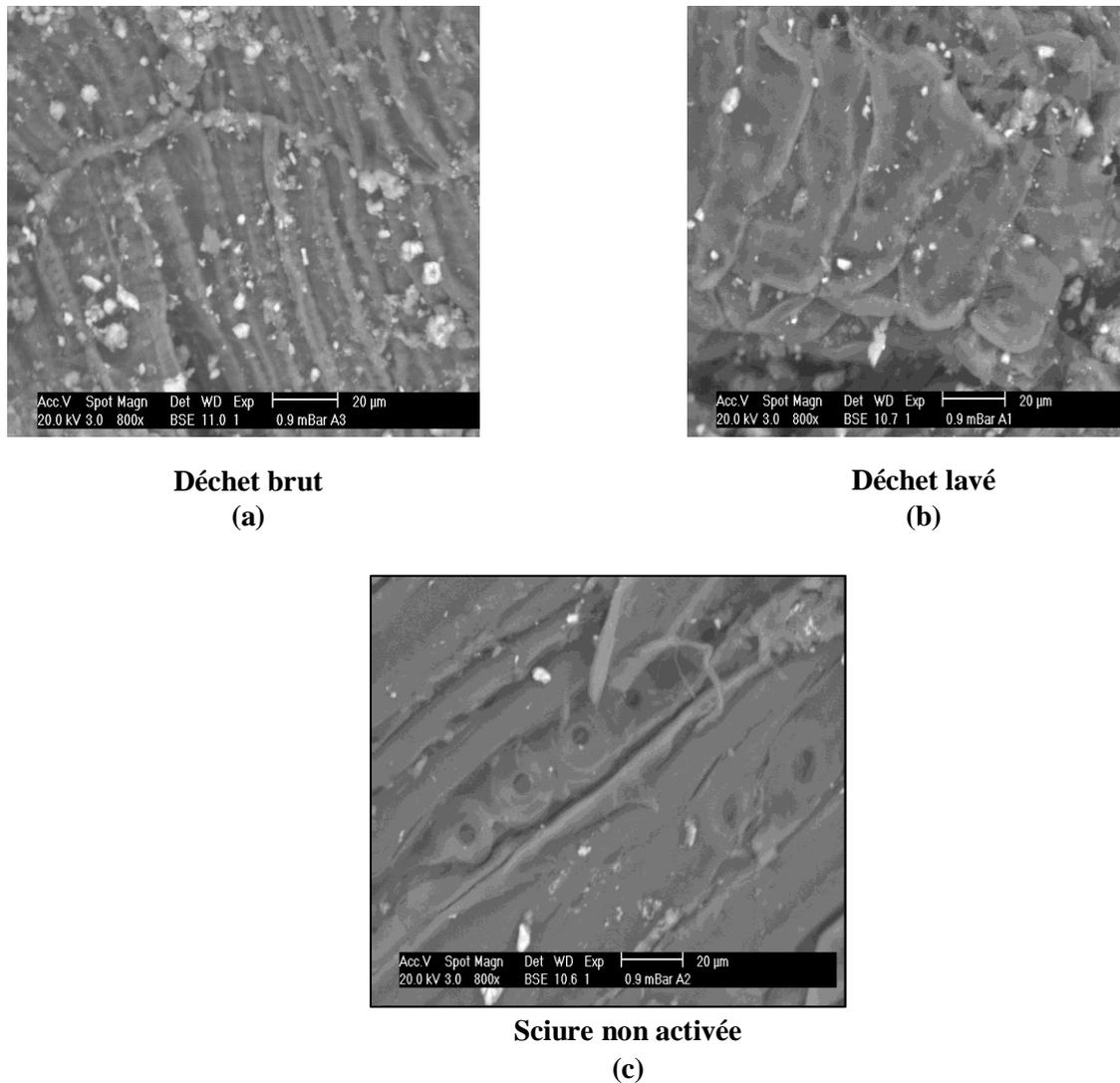
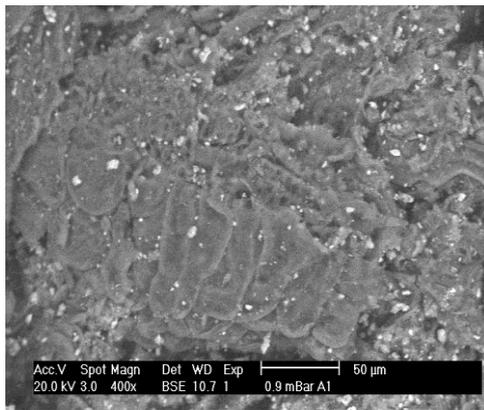


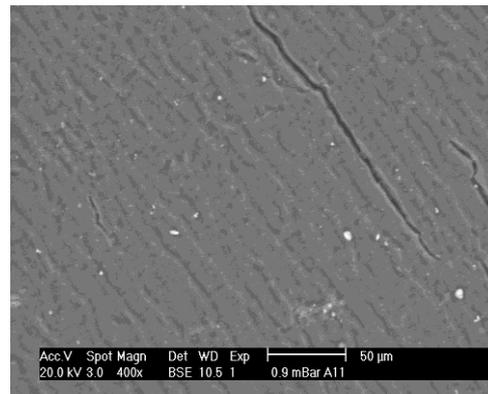
Figure 3.5 : Microscopie électronique à balayage de la poudre des adsorbants utilisés

L'examen morphologique donne les différentes microphotographies MEB de l'échantillon de déchet brut, lavé et de la sciure de bois non activée. L'image agrandie à 800x, illustrée dans la figure 3.5 (c) révèle une surface extérieure plus ou moins irrégulière et de structure hétérogène, observée dans l'échantillon de sciure de bois non activée. Les figures 3.5 (a) et 3.5 (b) montrent la présence du vide intercellulaire sous forme de cavités longitudinales partiellement exposées, dans l'échantillon de déchet, lavé. Ces photos indiquent aussi la présence des grains et des petits morceaux de matériaux dans leur structure. Ce résultat conforte celui trouvé par l'IRTF et la fluorescence.

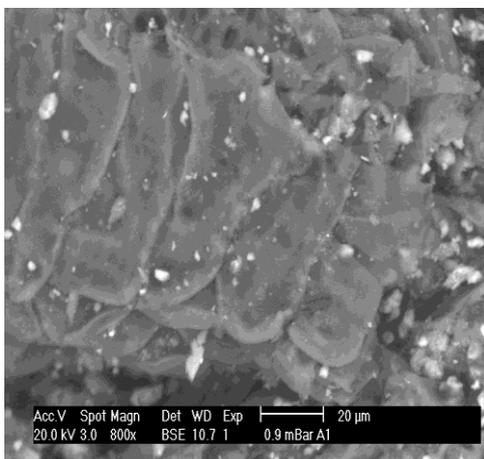
La figure 3.6 résume l'ensemble des différentes microphotographies MEB des échantillons de déchet lavé avant et après les essais d'adsorption.



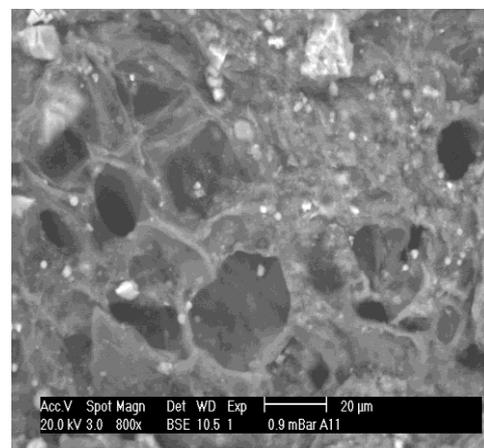
Déchet lavé avant
adsorption (a)



Déchet lavé après
adsorption (b)



Déchet lavé avant
adsorption (c)

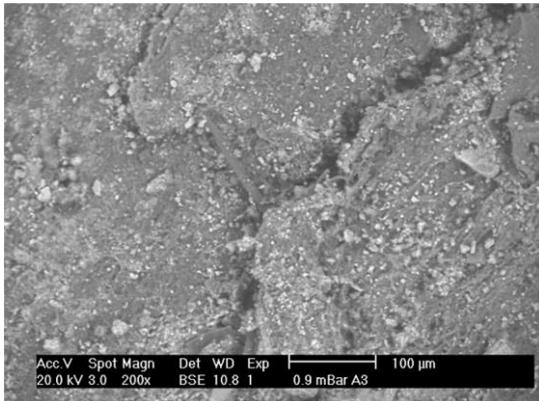


Déchet lavé après
adsorption (d)

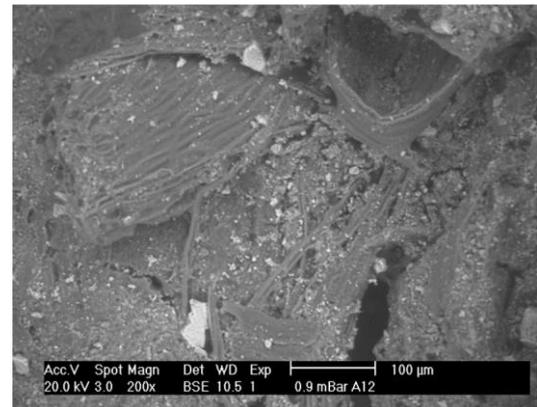
Figure 3.6 : Microscopie électronique à balayage de la poudre du déchet lavé avant et après adsorption

Cet examen morphologique donne les différentes microphotographies MEB de l'échantillon de déchet lavé avec deux agrandissements différents 400x et 800x avant et après adsorption qui sont illustrés dans la **Figure 3.6**. La comparaison entre les figures **Figure 3.6 (a)** Et **Figure 3.6 (b)** nous montre que le vide intercellulaire est complètement recouvert ce qui indique qu'il y a eu une adsorption sur la surface du déchet

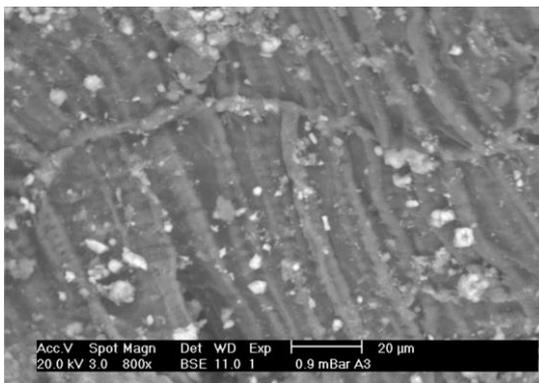
La **figure 3.7** résume l'ensemble des différentes microphotographies MEB des échantillons de déchet brut après les essais d'adsorption.



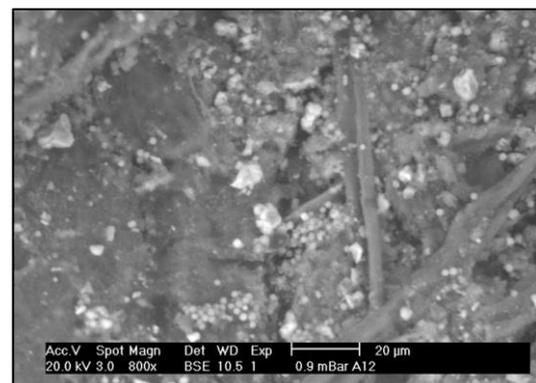
**Déchet brute avant
adsorption (a)**



**Déchet brute après
adsorption (b)**



**Déchet brute avant
adsorption (c)**



**Déchet brute après
adsorption (d)**

Figure 3.7 : Microscopie électronique à balayage de la poudre du déchet brut avant et après adsorption

Cet examen morphologique donne les différentes microphotographies MEB de l'échantillon de déchet brut avec deux agrandissements différents 200x et 800x avant et après adsorption qui sont illustrés dans la **Figure 3.7**.

De nouveaux éléments se sont déposés à la surface de l'adsorbant à la fin de l'adsorption qui sont forcément issus du bleu de méthylène d'après les figures (a et b). Dans le cas des figures (c) et (d), on remarque que le vide se trouvant à la surface de l'adsorbant a été complètement occupé après adsorption.

3.1.7 Composition atomique (EDX)

La composition élémentaire du matériau avant et après essais d’adsorption est illustrée par le spectre des figures 3.8, 3.9, 3.10 et 3.11. Elles montrent la présence du carbone, oxygène, potassium, silice et calcium en quantités différentes. Les pourcentages massiques et atomiques de ces éléments sont regroupés dans le tableau 3.4.

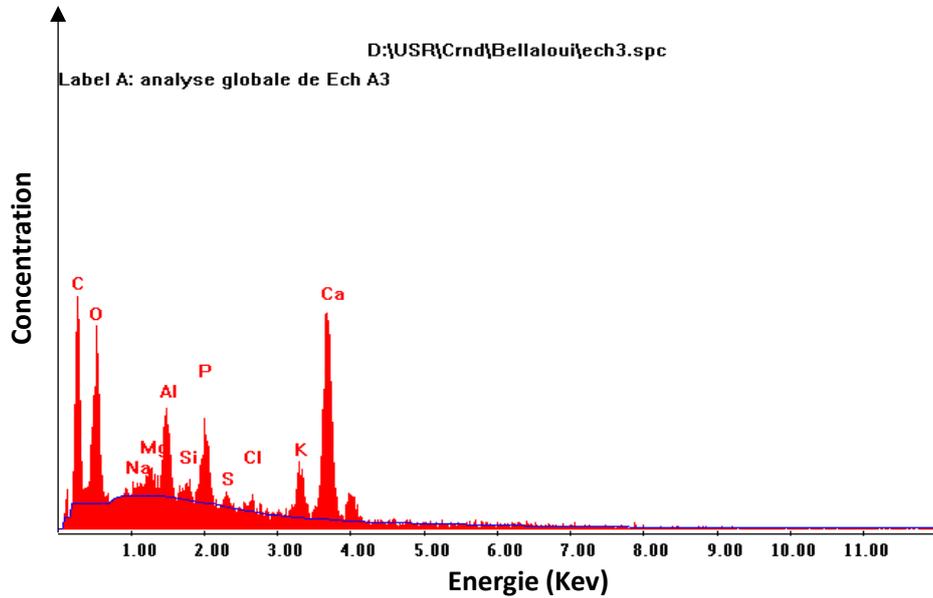


Figure 3.8 : Spectres d’analyses par EDX pour l’échantillon déchet brut

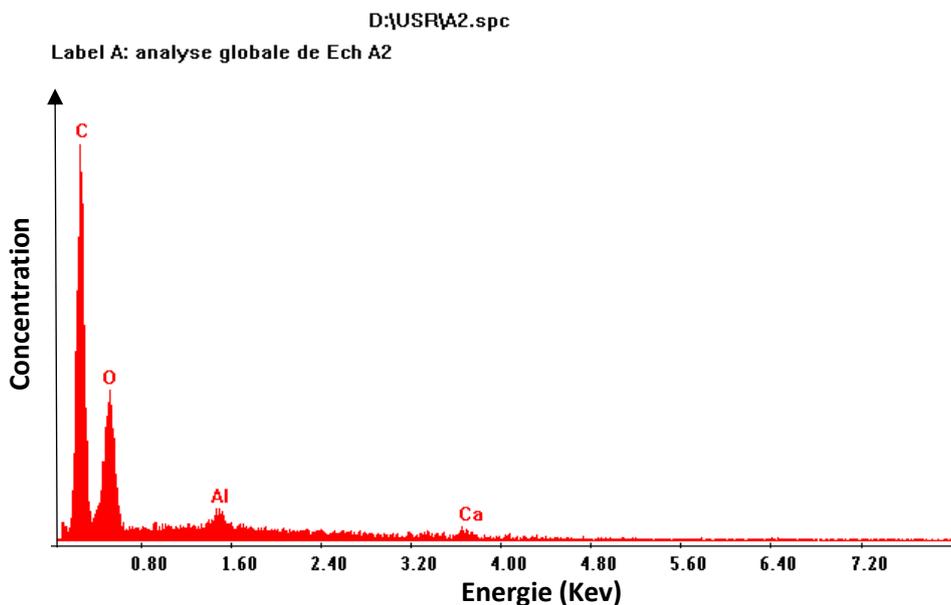


Figure 3.9 : Spectres d’analyses par EDX pour l’échantillon déchet lavé

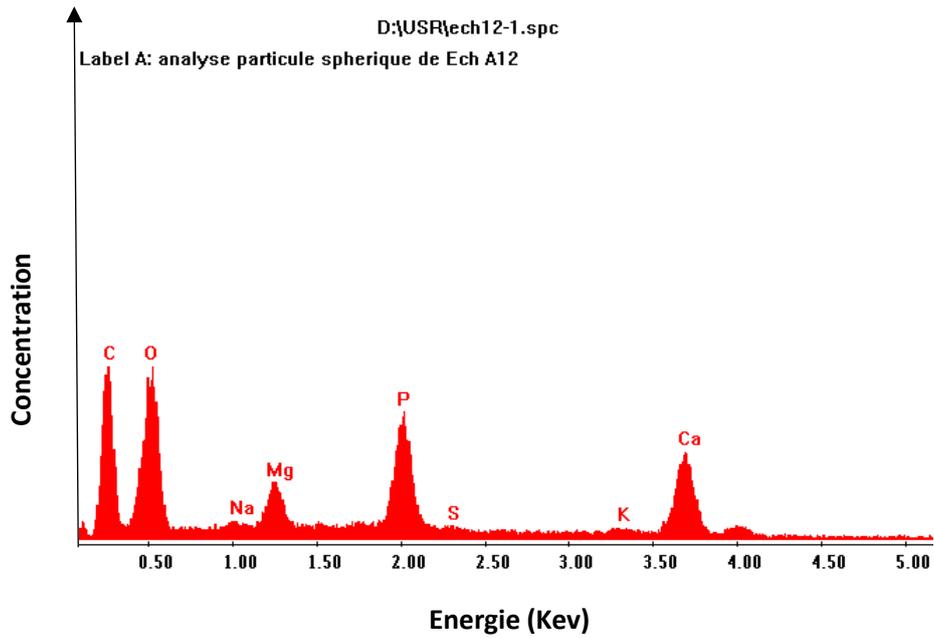


Figure 3.10 : Spectres d’analyses par EDX pour l’échantillon déchet brut après adsorption

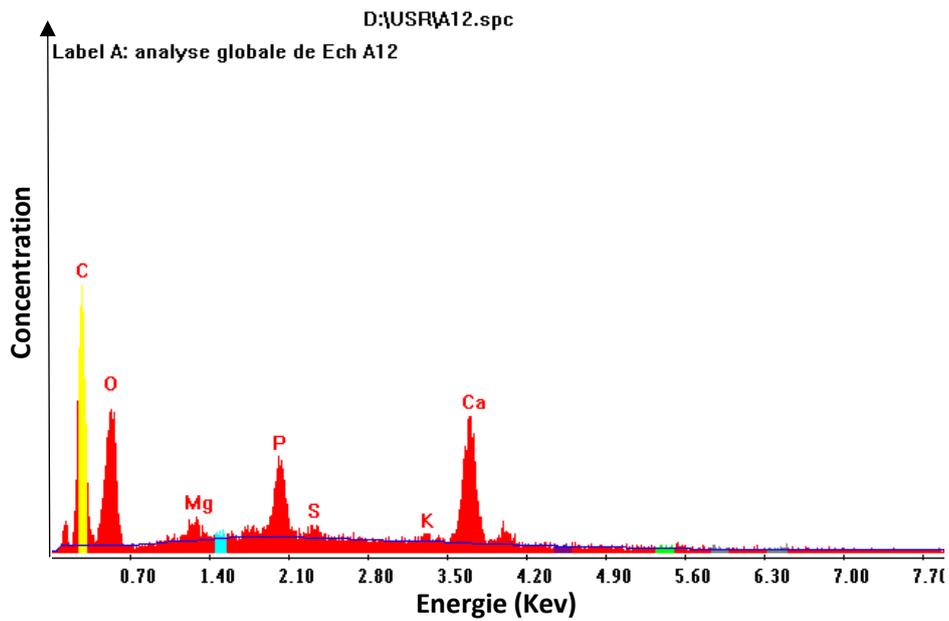


Figure 3.11 : Spectres d’analyses par EDX pour l’échantillon déchet lavé après adsorption

Tableau 3.4 : Composition élémentaire des matériaux avant et après essais d'adsorption

Elément	%Masse				% Atomique			
	Déchet brut (DAB)	Déchet lavé (DAL)	DAB après adsor	DAL après adsor	Déchet brut (DAB)	Déchet lavé (DAL)	DAB après adsor	DAL après adsor
C	32.63	53.54	36.23	41.21	45.55	61.10	47.25	52.77
O	37.72	44.21	43.84	40.94	39.53	37.88	42.92	39.35
Al	4.54	1.48	-	-	2.82	0.75	-	-
Na	1.24	-	0.79	-	0.91	-	0.54	0.54
Mg	1.76	-	3.69	1.79	1.21	-	2.38	1.14
P	3.44	-	7.30	4.55	1.86	-	3.69	2.26
S	0.53	-	0.32	0.69	0.28	-	0.15	0.33
K	2.97	-	0.62	0.59	1.27	-	0.25	0.23
Ca	13.54	0.77	7.21	10.23	5.67	0.26	2.82	3.93
Cl	0.67	-	-	-	0.32	-	-	-
Si	0.97	-	-	-	0.58	-	-	-
Total	100.00	100	100	100	100	100	100	100

D'après les résultats monter sur le **tableau3.4** on remarque que les éléments qui ont la plus grande présence sont le C, O. pour le déchet brute la quantité de carbone reste presque constante après adsorption alors que ce n'est pas le cas pour le déchet lavé là où elle a diminué. Pour l'oxygène il a augmenté après adsorption pour le déchet brut par contre il a diminué pour le déchet lavé

D'ailleurs on trouve aussi quelque élément comme les (Na, Mg, P, S, k, Cl, Si)) avec des petites quantités dans le déchet brut et qu'on ne trouve pas dans le lavé cela est justifié par le lavage

3.2 Optimisations

3.2.1 Essais d'adsorption

Cette partie a été dédiée aux essais d'adsorption du bleu de méthylène sur le broyat d'un déchet avicole lavé et brut (non lavé) et sur les copeaux de bois en fibre (sciure de bois).

3.2.1.1 Préparation des solutions mères de bleu de méthylène (BM)

Pour préparer la solution mère, nous avons pris **50** mg du bleu de méthylène (BM) et nous l'avons dilué avec l'eau distillé jusqu'à 1 litre dans une fiole jaugée. A l'aide d'un agitateur magnétique nous avons obtenu une solution homogène. Le pH des solutions est de 6.

3.2.1.2 Préparation des solutions diluées

A partir de solution mère déjà préparée nous avons pris les volumes suivants en ml (5,12.5,25,37.5ml). Chaque volume de la solution est dilué jusqu'à (100 ml) Pour obtenir les concentrations des solutions préparées, nous avons utilisé l'équation de dilution suivante :

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots (3-1)$$

C_1 : concentration de la solution mère (ppm) ;

C_2 : concentration de la solution fille ;

V_1 : volume de la solution mère à prélever ;

V_2 : volume de la solution fille.

Tous les essais d'adsorption ont été réalisés en système batch, dans des béchers de 1000 ml agités magnétiquement.

Les différents tests pour l'étude de la cinétique d'adsorption, ont été réalisés selon le protocole, suivant : La solution de contact contenant le bleu de méthylène à une concentration initiale constante C_0 , pour tous les tests, va être mélangé à des masses identiques de chaque adsorbat étudié, la courbe représentative de la cinétique d'adsorption est une fonction sous la forme $X/m=f(t)$. Le temps d'équilibre correspond au temps nécessaire à l'établissement de l'équilibre d'adsorption, entre la solution de contact et le solide (matériau). Sur la courbe, il correspond à la partie horizontale. Ce temps est très important, il permet de définir la durée des tests précédents, et une correcte mesure de la concentration C_e .

3.2.2 Cinétique d'adsorption

L'étude cinétique permet, en premier lieu, de déterminer le temps de contact nécessaire pour atteindre l'équilibre de la réaction. En deuxième lieu, elle permet de donner une idée sur le mécanisme de l'adsorption, à travers la détermination de l'ordre cinétique.

3.2.2.1 Temps d'équilibre

Afin de déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre réactionnel, 250 mg de déchet avicole (lavé et brut) est mis en contact avec 100 mg de BM dilué dans 1 litre d'eau (100ppm). Le suivi de la quantité de BM adsorbée sur le broyat du déchet avicole en fonction du temps a permis de tracer la courbe présentée par la figure 3.12 et 3.13 pour le déchet brut et lavé respectivement.

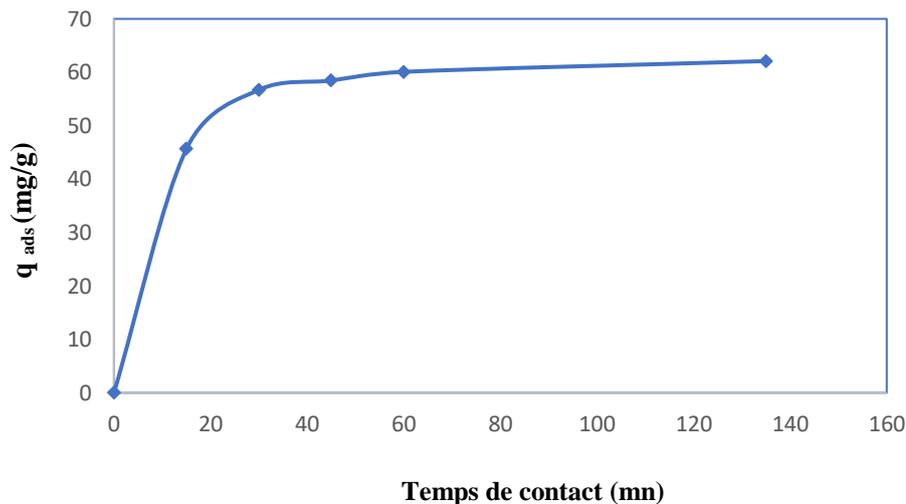


Figure 3.12 : Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut

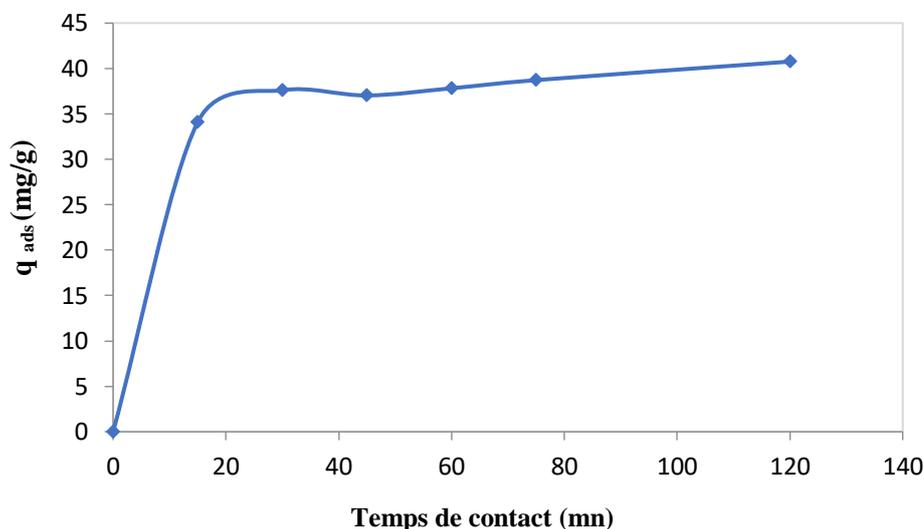


Figure 3.13 : Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé

Les deux courbes obtenues ont la même allure et peuvent être divisées en deux parties. Dans la première partie, la quantité de BM adsorbée augmente avec le temps. Puis, à partir de 60 mn, pour le cas de l'adsorption sur déchet brut et à partir de 105 mn pour le déchet lavée, la quantité de BM adsorbé demeure constante. Ceci révèle que le temps d'équilibre est atteint au bout de 60 et 105 mn de contact pour chaque adsorbant.

La différence du temps d'équilibre entre les deux types d'adsorbant peut être justifiée par la disponibilité d'un nombre important de sites actifs à la surface de l'adsorbant au début du processus d'adsorption ce qui confirme les résultats obtenus lors de la caractérisation de ces deux adsorbants par la FX, l'EDX et l'IRTF. La valeur de la surface spécifiques (S_{BET}) en témoigne de ça. La diminution de la vitesse d'adsorption au cours du temps est due à l'occupation lente des sites encore libres.

3.2.2.2 Paramètres influençant l'équilibre d'adsorption

On rappelle que l'adsorbant utilisé dans la présente étude est un déchet avicole et on a aucune idée sur son pouvoir adsorbant, la littérature n'a jamais évoqué ce type d'adsorbant, donc tout ce qu'on trouvera comme valeur est considéré comme résultat.

Il existe plusieurs paramètres qui influencent le phénomène de sorption. Il y a des paramètres liés à la nature de l'adsorbant tel que la granulométrie, la masse de ce dernier, ceux liés à la nature de l'adsorbât comme la concentration de ce dernier et finalement ceux liés aux conditions opératoires tel que le pH du milieu et la température.

❖ Effet de la masse de l'adsorbant

L'étude de l'effet de la masse de l'adsorbant a été réalisée en faisant varier celle-ci de 150 mg ; 200 mg ; 250 mg ; 300 mg, en maintenant les autres paramètres constants ; $C_0 = 100$ ppm, Volume 500 ml pour le déchet avicole Brut et 250 ml pour le déchet avicole Lavé, avec un pH du milieu égal à 6, à une température ambiante. La durée de l'expérience 3 h qui se trouve être largement suffisante pour atteindre l'équilibre.

Le résultat est représenté par les graphes 3.14 et 3.15.

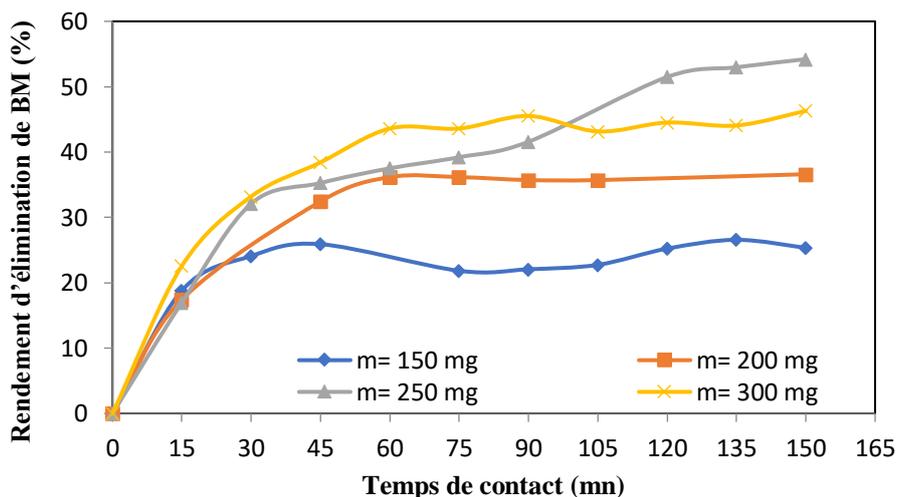


Figure 3.14 : Effet de la masse sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé

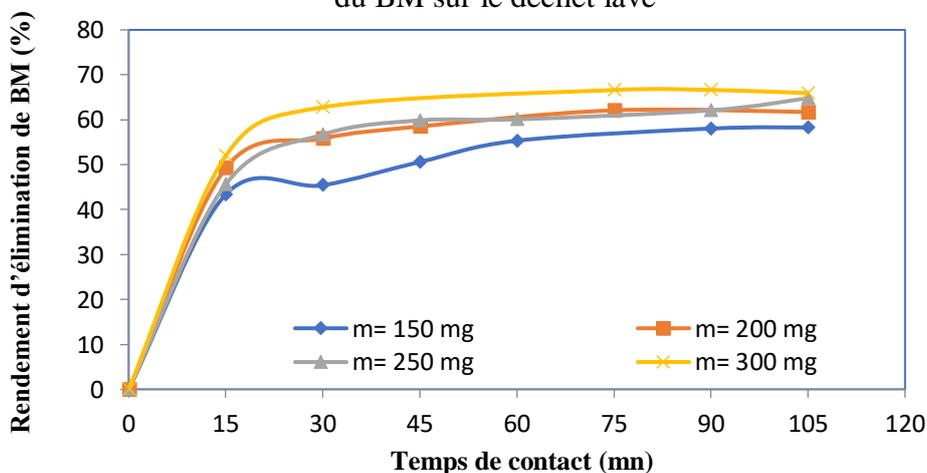


Figure 3.15 : Effet de la masse sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut

Les courbes ainsi tracées montrent que le pourcentage d'adsorption augmente avec la dose de l'adsorbant. Cette augmentation peut s'expliquer par la génération d'une surface supplémentaire due à l'augmentation de la quantité de l'adsorbant. On remarque qu'au-delà de **80min** de temps de contact du BM avec les masses (150 mg, 200 mg et 300 mg) du déchet lavé, l'adsorption ne varie pratiquement pas, il y'a formation d'un palier, pour la masse 250 mg, le pourcentage d'élimination augmente et atteint la maximum d'adsorption au temps d'équilibre de 80 min. pour le cas du déchet brut ,la conclusion à faire est la même que dans le cas du lavé à l'exception du temps d'équilibre qui est dans ce cas très cours par rapport aux essais d'adsorption sur déchet lavé qui est de **60 mn** cela peut être justifié par la grande surface spécifique du déchet avicole brut comparant au déchet avicole lavé ce qui confirme les résultats de caractérisation par BET c'est pour cela qu'on a eu un bon rendement même avec une masse faible (150mg). Donc la valeur optimale à prendre dans ce paramètre est **250mg** pour les deux types de déchets.

❖ Effet de la concentration initial en BM

Afin d'étudier l'effet de la concentration initiale du BM sur l'adsorption de ce dernier, une série d'expériences a été menée avec une masse initiale des deux types de déchets (brut et lavé) de 250mg qui a été optimisée et des concentrations initiales en BM de 25, 50, 100, 150 ppm. Le résultat de cette partie de travail est donné par les figures 3.16 et 3.17.

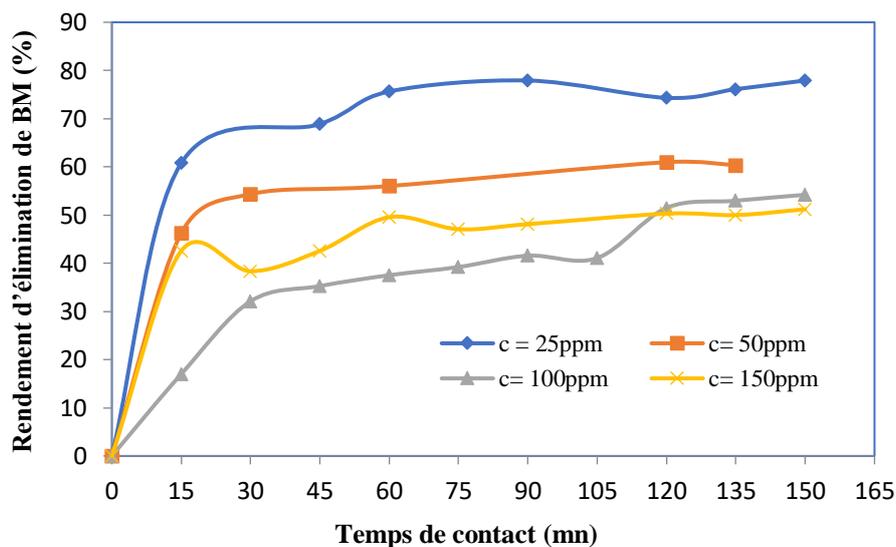


Figure 3.16 : Effet de la concentration sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé

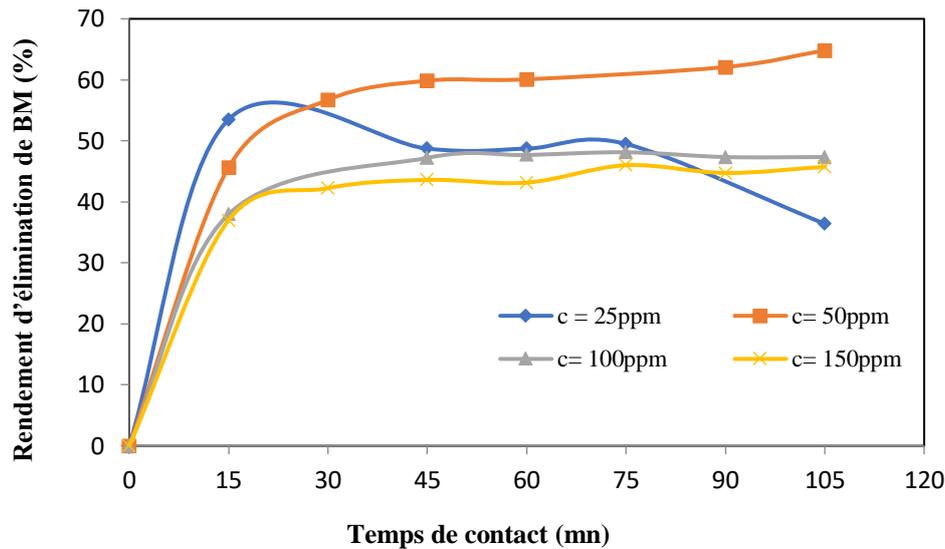


Figure 3.17 : Effet de la concentration sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut

Les figures 3.16 et 3.17 montrent que pour une quantité de 250 mg de déchet (brut et lavé), le rendement d'élimination diffère, en effet, Pour les concentration élevées (100 -150 ppm) , les rendements sont faibles en raison de la saturation des sites d'adsorption du déchet avicole lavée et brut, par contre pour les concentrations faibles on remarque une augmentation des rendements parce que toutes les molécules de BM présentes dans le milieu peuvent interagir avec les sites d'adsorption situés à la surface de l'adsorbant, sauf que dans le cas du déchet lavé les meilleurs taux d'élimination correspond aux essais d'adsorption à 25ppm et pour le cas du déchet brut, le taux d'élimination est atteint avec 50 ppm. Aussi comme on l'a déjà remarqué ci-dessus, l'équilibre d'adsorption est atteint plus rapidement dans le cas des essais d'adsorption du BM en contact avec le déchet brut comparativement avec le déchet lavé.

Suite aux résultats trouvés, la concentration initiale en BM optimisée est de **50 ppm** pour le cas de l'adsorbant déchet avicole brut.

La même concentration pour le cas du déchet avicole lavé va être prise car 25 ppm de BM est une concentration très faible par rapport à une masse de 250mg d'adsorbant, c'est pour cela que l'adsorption était trop facile et meilleure.

❖ Effet du volume de la solution du BM

Afin d'étudier l'effet du volume sur la solution en BM nous avons fait varier ce dernier entre (100, 250, 500, 750ml) avec les conditions optimisées (une masse de 250 mg et une concentration de 50 ppm à une température ambiante et le pH du milieu qui est égal à 6).

Le résultat de l'optimisation est donné par les figures 3.18 et 3.19.

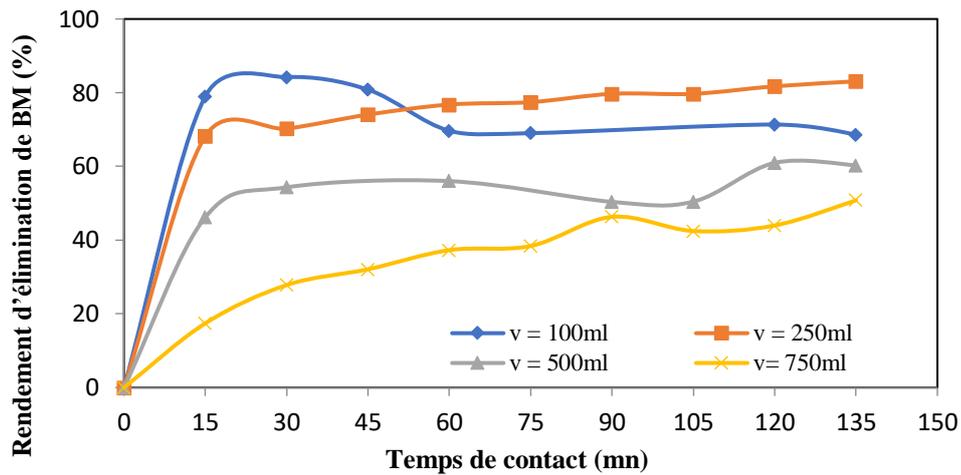


Figure 3.18 : Effet du volume de l'adsorbant en solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé

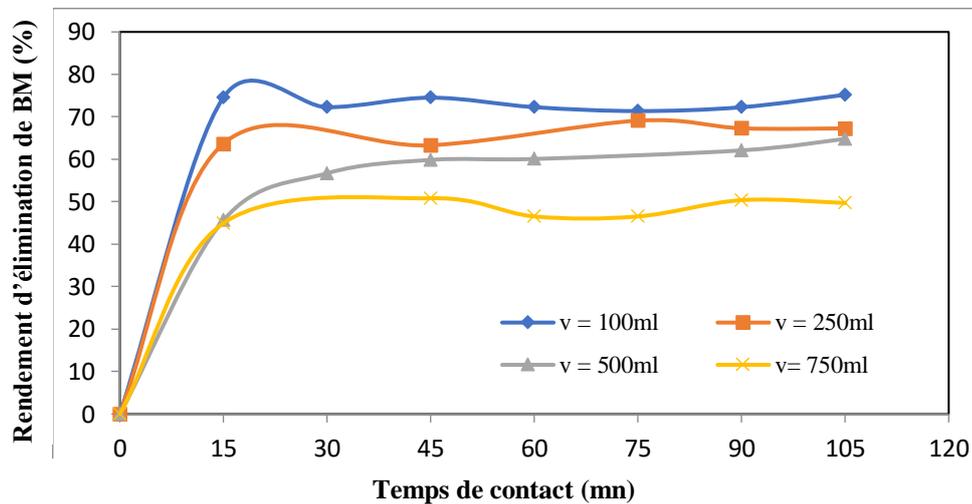


Figure 3.19 : Effet du volume de l'adsorbant en solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet brut

D'après les résultats illustrés par les graphes ci-dessus, il apparaît que le meilleur rendement en termes de pourcentage d'élimination du BM est obtenu pour un volume de l'adsorbant en solution égale à 100 ml dans le cas de l'adsorbant (déchet avicole brut) et un volume de 250 ml dans le cas de l'adsorbant (déchet avicole lavé). Mais la valeur optimale prise du volume de l'adsorbant en solution est celle de **500 ml** car on pense que 100 ml est un volume trop petit par rapport à la masse de l'adsorbant $R = m/V = 2.5$ c'est-à-dire on a utilisé une masse de l'adsorbant qui est de 2.5 fois plus grande que le Volume.

❖ Effet du pH

Il est intéressant de voir l'effet du pH qui est l'un des paramètres les plus importants, influençant ainsi l'adsorption. L'étude a été effectuée pour des valeurs de pH comprises entre 3,6,8 et 11. Avec les conditions déjà optimisées c'est-à-dire $m_{ads}=250$ mg, $C_0 = 100$ ppm $V_{BM} = 250$ ml, l'étude a été réalisé avec les deux types d'adsorbants (déchet avicole lavé

(DAL) et déchet avicole brut (DAB). Le pH est ajusté par des solutions de NaOH et HCl à 0,1 M. la figure 3.20 résume l'ensemble des résultats.

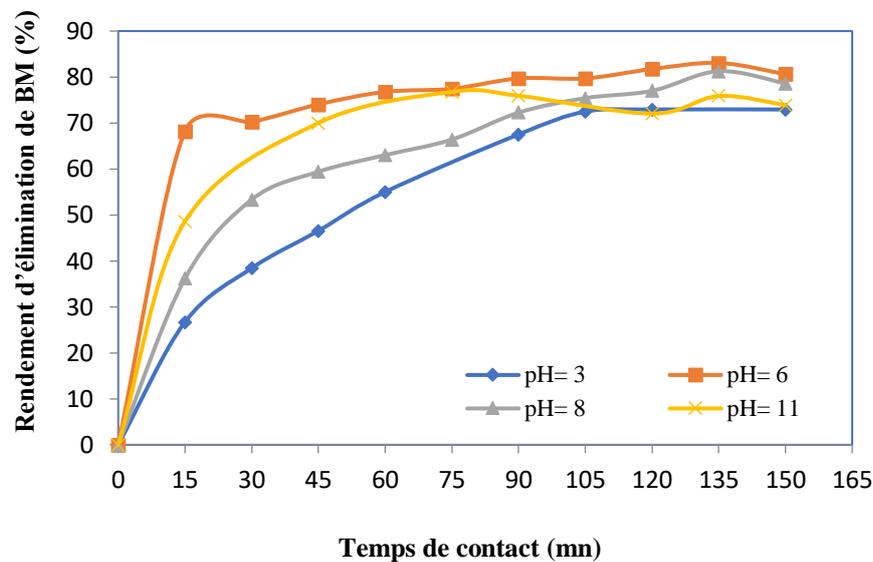


Figure 3.20 : Effet du pH de la solution sur la Cinétique d'adsorption du BM sur le déchet lavé

Ce qu'on peut observer à partir de ce graphe que toutes les courbes convergent vers des valeurs voisines à la fin de la cinétique, néanmoins avant d'atteindre le temps d'équilibre le meilleur rendement d'élimination du BM par adsorption sur le DAL et le DAB est obtenu avec le pH initial du milieu qui est égale à 6. En effet pour des valeurs de pH inférieur à 6, la surface de l'adsorbant serait entourée par les ions H^+ [4] ce qui diminue l'interaction des ions du BM avec les sites de l'adsorbant et empêchera donc la formation de liaisons entre le BM et le site actif, en raison de la répulsion électrostatique et la compétition entre les ions H^+ et le colorant cationique pour les sites d'adsorption. Par contre pour des pH au-delà du 8, on observe que la quantité adsorbée est inférieure à celle aux essais à pH=6, surtout au milieu très basique pH =11 au temps d'équilibre. Cette diminution de la quantité adsorbée peut s'expliquer par le fait qu'en milieu alcalin, les ions hydroxyles peuvent interagir avec les cations de BM et empêchent l'adsorption sur les sites actifs. Donc la valeur du pH optimale est 6 qui se trouve être la valeur du pH du milieu.

Pour de déchet brut on a jugé qu'il n'était pas nécessaire de faire la cinétique parce que le pH de brut et le lavée sont les mêmes.

❖ Influence de la sciure sur l'adsorption

Pour montrer l'influence de la présence de la sciure dans les déchets avicoles sur la cinétique d'adsorption du BM, nous avons préparé un mélange (déchet/sciure) avec un rapport de masse : $m/m = 1/1$, les résultats sont formulés sous forme de graphes représentés par les figures 3.21 et 3.22.

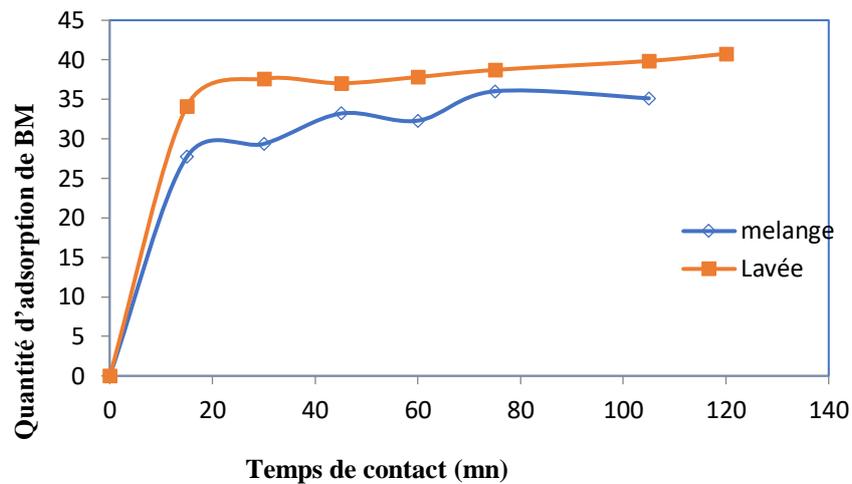


Figure 3.21 : Influence du mélange (sciure/DAL) sur la Cinétique d'adsorption du BM

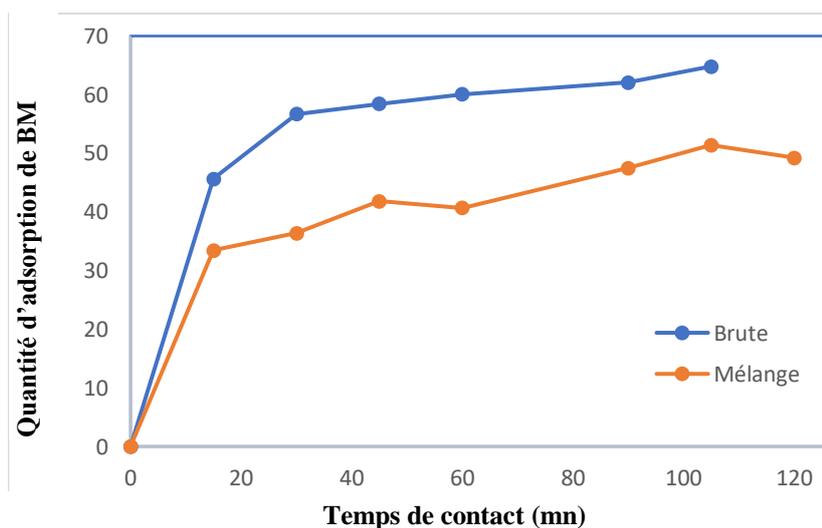


Figure 3.22 : Influence du mélange (sciure/DAB) sur la Cinétique d'adsorption du BM

D'après les graphes on remarque que la présence de la sciure baisse le rendement d'adsorption du BM sur le déchet avicole que ce soit lavé ou brut.

3.3 Détermination de l'ordre cinétique

Afin de mieux comprendre le processus d'adsorption du BM par déchets avicoles utilisés (lavé et brut), trois modèles cinétiques sont appliqués aux résultats expérimentaux : le pseudo premier ordre, le pseudo second ordre et modèle de diffusion intra-particulaire. L'intégration de l'équation du pseudo premier ordre (équation 3.2) a permis d'obtenir une droite non linéaire ayant une pente de $-K_1$ et un ordonné à l'origine de $\ln q_e$.

L'application de ce modèle pour les deux types de déchets (brut et lavé) est présentée par les figures 3.18 et 3.19 respectivement. Quant à l'intégration de l'équation de pseudo

second ordre (équation 3.3), elle a permis d’obtenir une droite avec une pente de $1/q_e$ et un ordonné à l’origine $1/(K_2 q_e^2)$ comme le montre les figures 3.20 et 3.21. Pour le cas de la diffusion intra-particulaire, on constate que la courbe obtenue entre l’ordonnée q_t et l’abscisse \sqrt{t} n’est pas totalement linéaire. L’application de ce modèle est présentée par les figures 3.22 et 3.23. Les paramètres des trois modèles cinétiques, qui sont obtenus graphiquement, sont présentés dans le tableau 3.5 et 3.6.

Tableau 3.5 : Les équations des modèles cinétiques appliquées dans cette étude cinétique.

Modèle	Equation	Numéro de l’équation
pseudo premier ordre	$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k t$	3.2
pseudo second ordre	$q_t = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{K_2 q_e^2}$	3.3
diffusion intra-particulaire	$q_t = K_i t^{0.5} + C$	3.4

3.3.1 Pseudo premier ordre

Les résultats obtenus en appliquant le modèle cinétique du pseudo-premier ordre (Tableau 3.5) pour les deux types d’adsorbant (DAB et DAL) sont représentés sur les figures 3.23 et 3.24 respectivement. Les résultats présentés sur ces deux figures montrent que l’équation de Lagergren n’est pas applicable dans le cas du DAB car le graphe n’est pas linéaire et a un faible coefficient de corrélation de $R^2 = 0.322$, par contre avec le DAL le résultat est correct avec un coefficient de corrélation de $R^2 = 0.998$.

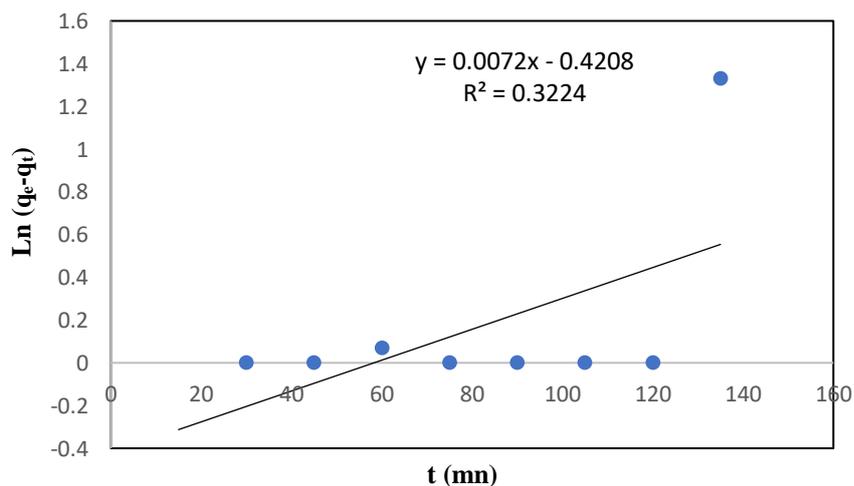


Figure 3.23 : Modèle cinétique du pseudo première ordre du Déchet Avicole Brut (DAB)

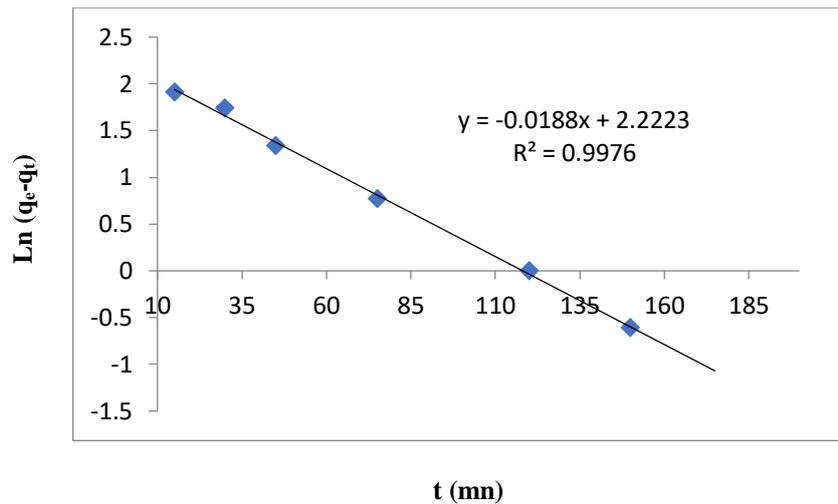


Figure 3.24 : Modèle cinétique du pseudo première ordre du Déchet Avicole Lavé (DAL)

3.3.2 Modèle de la cinétique de pseudo-second ordre

Les résultats obtenus en appliquant le modèle cinétique de pseudo-second ordre (Tableau3.5), pour les deux types de déchets (brut et lavé) sont représentés par les figures 3.25 et 3.26. On constate que la courbe obtenue entre l’ordonnée t/q_t et l’abscisse t est linéaire avec un coefficient de corrélation $R^2 \approx 1$, dans le cas du lavé et un coefficient $R^2 = 0.993$ pour le déchet brut. Donc les résultats de l’adsorption du bleu de méthylène sur le charbon actif suivent une cinétique de pseudo-second ordre.

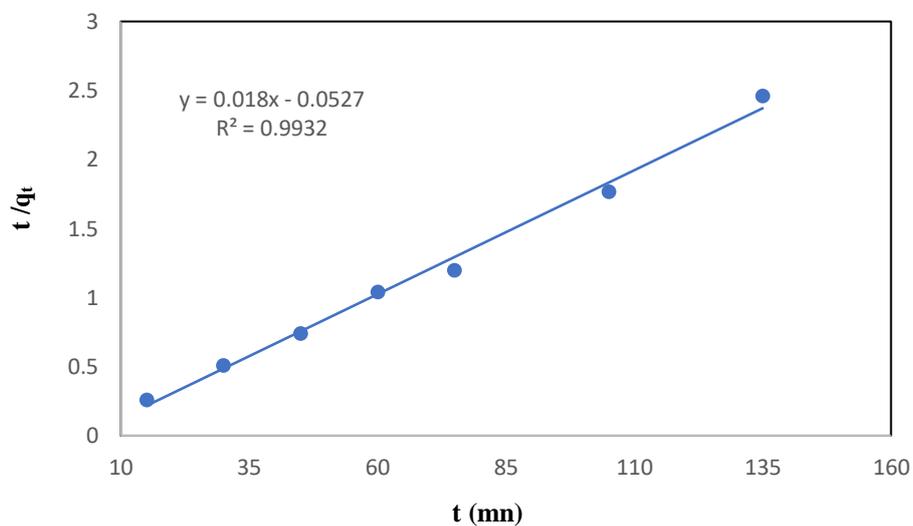


Figure 3.25 : Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre du Déchet Avicole Brut (DAB)

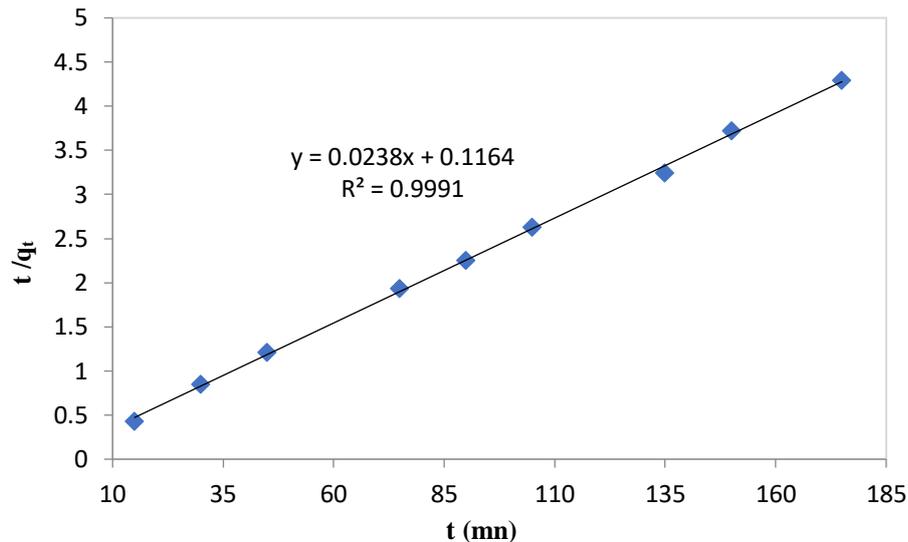


Figure 3.26 : Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre du Déchet Avicole Lavé (DAL)

3.3.3 Diffusion intra-particulaire

Les résultats obtenus en appliquant le modèle cinétique de la diffusion intra-particulaire (Tableau 3.5) pour les deux types de déchets (brut et lavé) sont représentés par les figures 3.27 et 3.28.

On rappelle que si :

- $qt=f(t^{0.5})$ est une droite qui passe par l'origine ($C=0$), la diffusion intra-particulaire contrôle le processus ;
- $qt=f(t^{0.5})$ est une droite qui ne passe pas l'origine ($C \neq 0$), les deux mécanismes de diffusion intra et extra particulaire attribuent au contrôle de la cinétique ;
- Plus l'ordonnée à l'origine C est grande, plus la contribution à la diffusion extra-particulaire est importante.

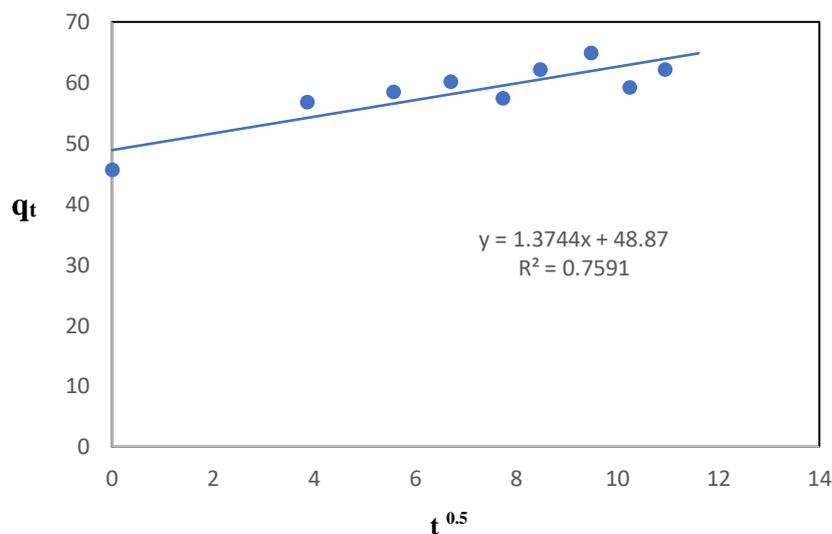


Figure 3.27 : Modèle cinétique de la diffusion intra-articulaire sur Déchet Avicole Brut (DAB)

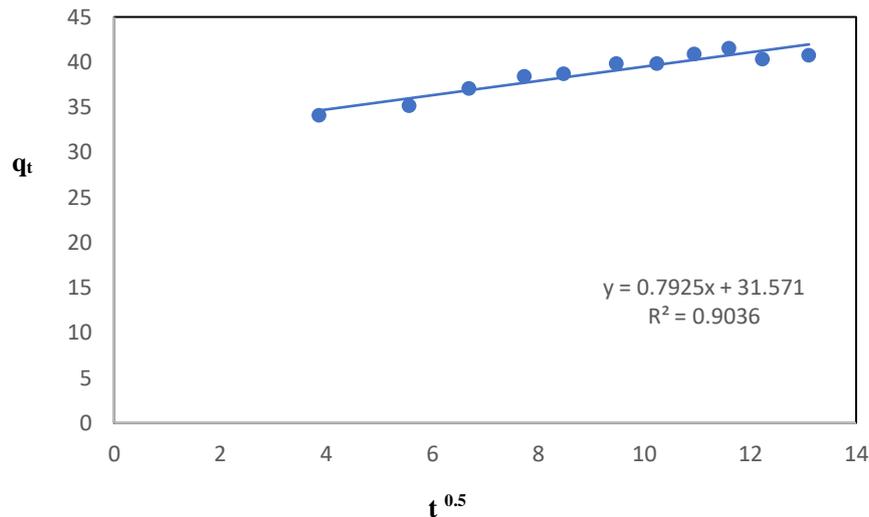


Figure 3.28 : Modèle cinétique de la diffusion intra-articulaire sur Déchet Avicole Lavé (DAL)

On constate que les droites obtenues entre l’ordonnée q_t et l’abscisse \sqrt{t} ne passent pas par l’origine et ont un coefficient de corrélation $R^2= 0.7591$ et $R^2= 0.904$. Donc les résultats de l’adsorption du bleu de méthylène sur le déchet avicole implique que les deux mécanismes de diffusion intra et extra granulaire, attribuent au contrôle de la cinétique d’adsorption.

Le tableau 3.6 rassemble les paramètres expérimentaux déterminés par les graphes des modèles de cinétiques.

Tableau 3.6 : Les constantes des modèles appliquées dans l’étude cinétique

PSEUDO ORDRE		PREMIER	PSEUDO-SECOND ORDRE			DIFFUSION PARTICULAIRE		INTRA-
K_1	q_{e1}	R^2	K_2	q_{e2}	R^2	K_p	C	R^2
DAB			DAB			DAB		
0.072	0.65	0.322	-0.006	55.55	0.993	1.3744	48.87	0.904
DAL			DAL			DAL		
-0,0188	9.22	0.997	0.004	42.01	0.999	0.7925	31.57	0.759

A l’instar des résultats présentés au tableau ci- dessus et en comparant les valeurs du coefficient de corrélation, ont conclu que nos essais d’adsorption suivent la cinétique du pseudo second ordre.

3.4 ÉQUILIBRE D’ADSORPTION DU BM SUR LES DECHETS AVICOLES

Le phénomène d’adsorption peut être décrit en termes d’isothermes. Ces derniers rendent comptent la relation entre la quantité adsorbée du soluté et la concentration de ce

dernier dans la phase liquide, sous deux conditions : l'équilibre réactionnel est atteint et les conditions opératoires sont constantes [5].

Afin d'interpréter ces isothermes d'adsorption, différents modèles théoriques ont été développés tels que le modèle de Langmuir, de Freundlich et celui de Timkin comme le montre le tableau 3.7. L'application de ces derniers permet de prédire la quantité maximale que peut fixer un adsorbant, à partir d'un nombre limité d'expériences.

Tableau 3.7 : Les modèles de Langmuir, Freundlich et Timkin appliqués dans cette étude

Modèle	Equation	Numéro de l'équation
Langmuir	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{K_L q_{max}}$	3.5
Freundlich	$\ln c_e = \ln k_F + n \ln c_e$	3.6
Timkin	$q_e = B \ln k_T + B \ln c_e$	3.7

3.4.1 ISOTHERME D'ADSORPTION

La mesure de la concentration résiduelle du BM, pour différentes concentrations initiales à l'équilibre, a permis d'établir les isothermes d'adsorption dans le cas de l'adsorbant déchet avicole brut et lavé présentées par les figures 3.29 et 3.30 respectivement.

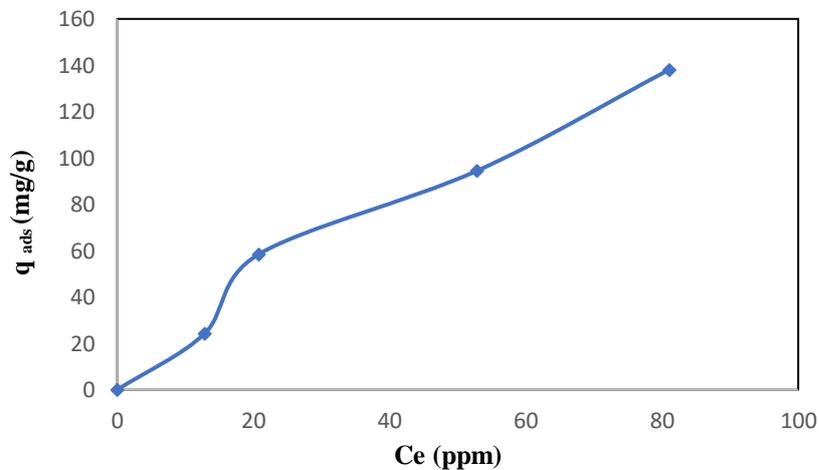


Figure 3.29 : Isotherme d'adsorption du BM par le DAB

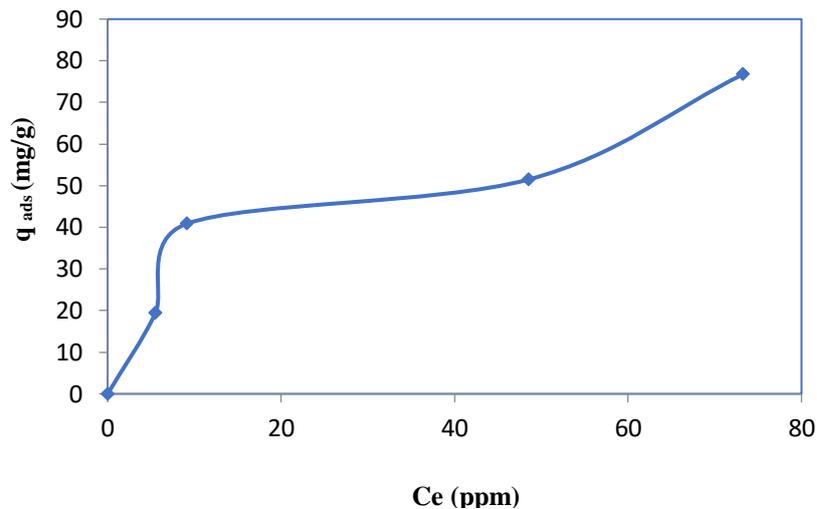


Figure 3.30 : Isotherme d'adsorption du BM par le DAL

Les **figures 3.29 et 3.30** représentent la variation de la quantité adsorbée de bleu de méthylène sur le déchet avicole brut et lavé respectivement à l'équilibre q_e en fonction de C_e la concentration de bleu de méthylène en solution à la température de 20°C et un pH= 6. On constate que la quantité adsorbée q_e est proportionnel à C_e jusqu'à la concentration $C_e= 12,85$ ppm (pour $q_e = 24.3$ mg/g) pour le brut et $C_e= 5.25$ ppm (pour $q_e= 19.48$ mg/g) pour le lavé, Quand C_e tend vers zéro, la pente de l'isotherme est constante.

Au de-là de ces valeurs, toute augmentation de la concentration de bleu de méthylène en solution C_e , entraîne une augmentation dans la quantité adsorbée q_e qui n'évolue pas d'une façon constante quel que soit C_e .

Cette isotherme peut être classée sous la forme « S ». On rappelle que le type S est rencontré lorsque les molécules de soluté se fixent au solide par l'intermédiaire d'un seul groupement et quand l'adsorption du solvant est appréciable, c'est le cas pour les deux adsorbants utilisés dans notre étude.

L'isotherme type S traduit une affinité variable de l'adsorbant par rapport à la substance adsorbée [6].

3.4.2 Modélisation mathématique

L'application des trois modèles celui de Langmuir, Freundlich et Timkin (Tableau 3.7) a été réalisé pour les résultats expérimentaux des isothermes d'adsorptions du bleu de méthylène sur les différents matériaux étudiés à savoir (DAB et DAL). Les isothermes d'adsorption ont été réalisées en faisant varier la concentration initiale de l'adsorbât (25, 50, 100, 150 et 200 ppm), dans les conditions optimisées.

❖ Modèle de Langmuir

On constate que la valeur du coefficient de corrélation linéaire de la courbe sur la **figure 3.31** est égale à $R^2=0,9981$ ce qui indique que les résultats de l'adsorption du Bleu méthylène sur le DAB obéissent au modèle de Langmuir (Tableau3.7). Pour le cas du DAL le coefficient de corrélation linéaire est de $R^2=0,991$.

Les valeurs calculées selon le modèle de Langmuir sont affichées au tableau des modèles (Tableau 3.8) :

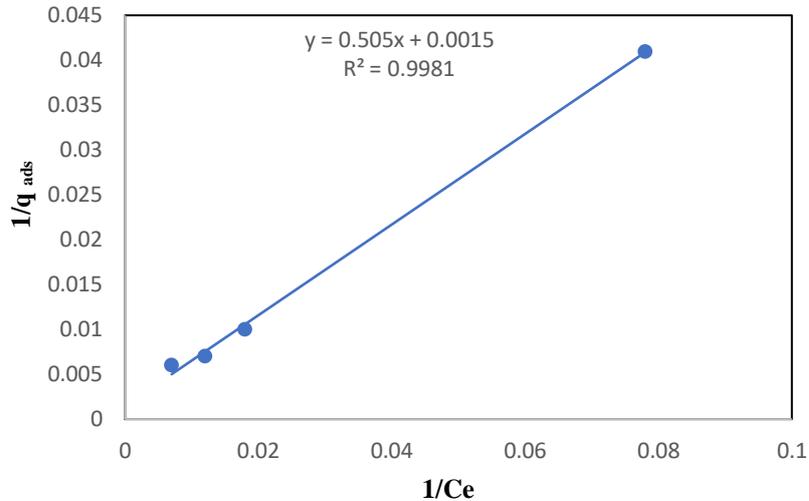


Figure 3.31 : Forme linéaire du modèle de Langmuir du bleu méthylène BM sur le DAB

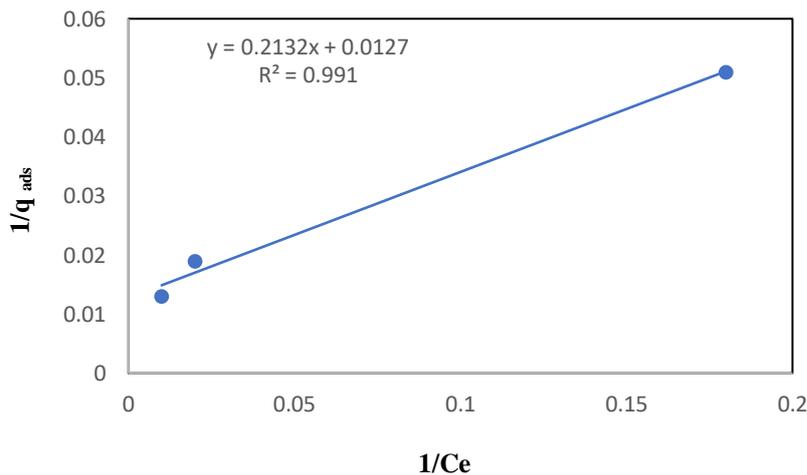


Figure 3.32 : Forme linéaire du modèle de Langmuir du bleu méthylène BM sur le DAL

❖ **Modèle de Freundlich**

Les droites ainsi obtenues ne montrent pas la linéarité de ces dernières. On constate aussi que la valeur du coefficient de corrélation est égale à $R^2=0,92$ pour le cas du déchet avicole brut et de $R^2 = 0.83$ pour le déchet avicole lavé, des valeurs qui ne sont pas élevées par rapport à celles de Langmuir, ce qui indique que les résultats de l’adsorption du Bleu méthylène sur le charbon actif n’obéissent pas au modèle de Freundlich (Tableau3.8).

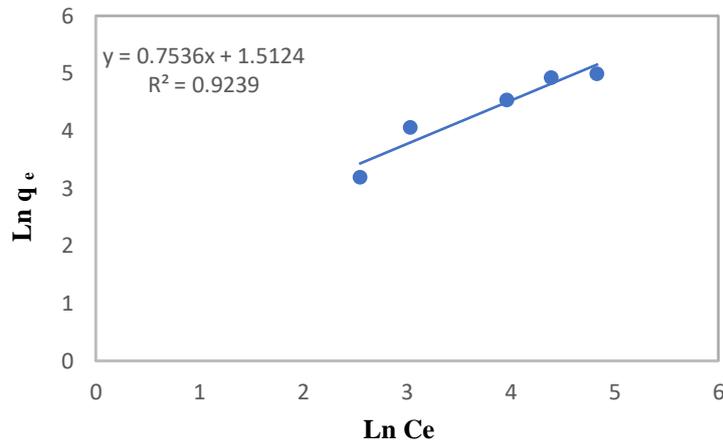


Figure 3.33 : Forme linéaire du modèle de Freundlich du bleu méthylène BM sur le DAB

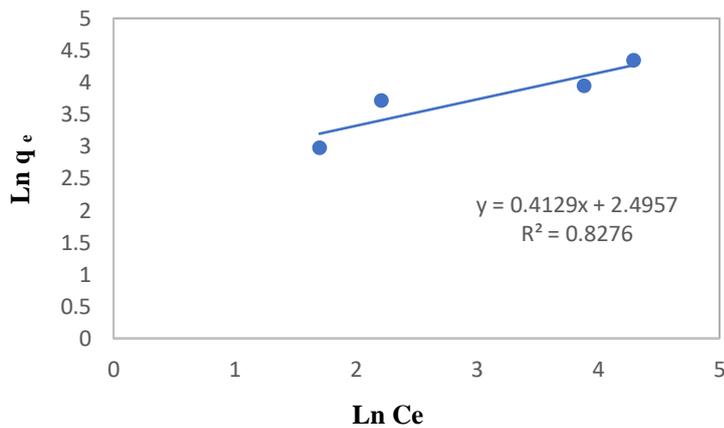


Figure 3.34 : Forme linéaire du modèle de Freundlich du bleu méthylène BM sur le DAL

❖ **Modèle de Timkin**

On constate que la valeur du coefficient de corrélation linéaire de la courbe des figures 3.35 et 3.36 est égale à $R^2=0,97$ et $R^2=0.85$ respectivement. Les valeurs des autres paramètres sont indexées au tableau 3.8.

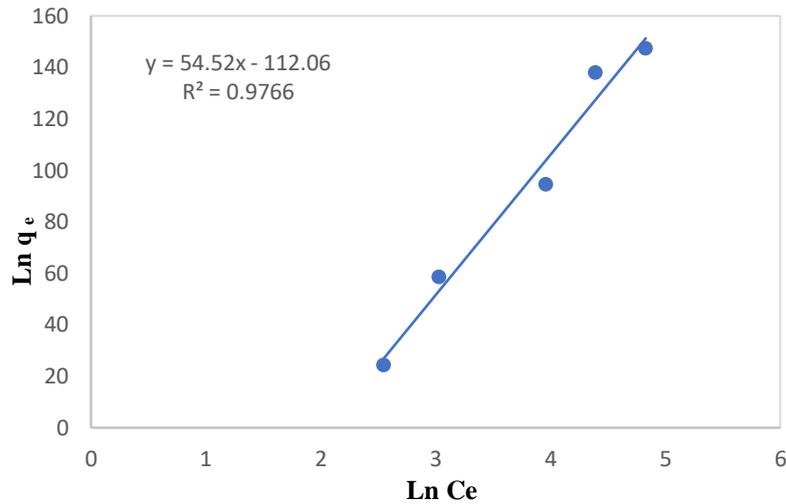


Figure 3.35 : Forme linéaire du modèle de Timkin du bleu méthylène BM sur le DAB

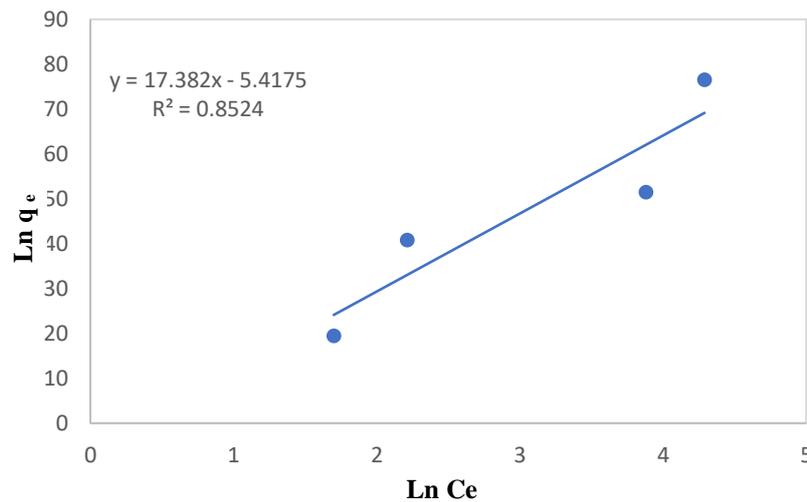


Figure 3.36 : Forme linéaire du modèle de Timkin du bleu méthylène BM sur le DAL

Tableau 3.8 : Paramètres des différents modèles mathématiques de l'adsorption

Langmuir		Freundlich			Tamkin				
K_L	q_{max}	R_L	R^2	K_F	n	R^2	K_T	B	R^2
DAB				DAB			DAB		
0.002	666.66	0.01	0.998	4.53	1.32	0.924	0.12	54.52	0.976
DAL				DAL			DAL		
0.058	78.74	0.02	0.991	12.13	2.42	0.827	0.73	17.38	0.852

D'après les résultats sur le tableau 3.8 on peut déduire que :

- Pour la brut RL : $0 < 0.01 < 1$ donc l'isotherme est favorable
n est $1.32 > 1$ donc c'est une physisorption.
- Pour le Lavé RL : $0 < 0.02 < 1$ donc l'isotherme est favorable
n est $2.42 > 1$ donc c'est une physisorption

Au résumé de cette partie et en tenant compte des valeurs des constantes de chaque modèle (tableau 3.8), ces dernières indiquent que le modèle de Langmuir représente parfaitement le processus d'adsorption du BM sur les deux types de déchets avicoles, avec des valeurs de coefficient de corrélation proche de l'unité (0,998 et 0,991). Les quantités adsorbées maximales obtenues par le modèle de Langmuir respectivement pour les deux déchets : 666.66 mg.g^{-1} et 78.74 mg.g^{-1} ; ainsi que les valeurs des facteurs de séparation de Langmuir appartiennent au domaine de validité (entre 0 et 1). Ceci renforce la validité du modèle de Langmuir qui repose sur l'absence d'interactions entre les entités adsorbées sur des sites de même nature.

3.5 Thermodynamique d'adsorption

Les paramètres thermodynamiques ont été déterminées à partir des données expérimentales, afin d'évaluer et de comprendre si les processus d'adsorption étudiés étaient spontanés ou non ; exothermiques ou endothermiques. Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre sont : l'enthalpie libre standard ΔG° , l'enthalpie standard ΔH° et l'entropie standard ΔS° , ils sont exprimés par les équations suivantes sur le tableau 3.9.[7]

Tableau 3.9 : Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre

Relation	Equation	Numéro de l'équation
Enthalpie libre standard	$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$	3.8
Enthalpie expérimentale	$\Delta G^\circ = -RT \ln K_C$ $K_C = q_e / C_e$	/ 3.9
Tracé Expérimental	$\ln q_e / C_e = -\Delta H^\circ / R * 1/T$ $+ \Delta S / R^\circ$	3.10

K_C : La constante de distribution du soluté dans l'adsorbant et dans la solution.

q_e : la quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g)

C_e : Concentration du soluté

R : la constante des gaz parfait ($8,314 * 10^{-3} \text{ KJ.mol}^{-1} . \text{K}^{-1}$),

T : la température absolue (K)

Si l'on trace selon l'équation 3.10, le logarithme de q_e / C_e en fonction de $1/T$, nous obtenons une droite de pente $-\Delta H^\circ/R$ et d'ordonnée à l'origine $\Delta S^\circ/R$.

Les paramètres thermodynamiques ont été déterminés à partir des essais d'adsorption du bleu de méthylène sur différents matériaux (DAB et DAL) à différentes températures 298K, 313K et 333K. Ce qui nous a permis de déterminer pour chaque température la quantité adsorbée à l'équilibre q_e et la concentration de bleu de méthylène en solution C_e .

En portant $\ln q_e/c_e$ en fonction de $1/T$, on peut déterminer pour les courbes linéaires les paramètres thermodynamiques, à savoir ΔH° et ΔS° . Pour ce qu'est de ΔG° , elle peut être calculée directement par l'équation 3.9

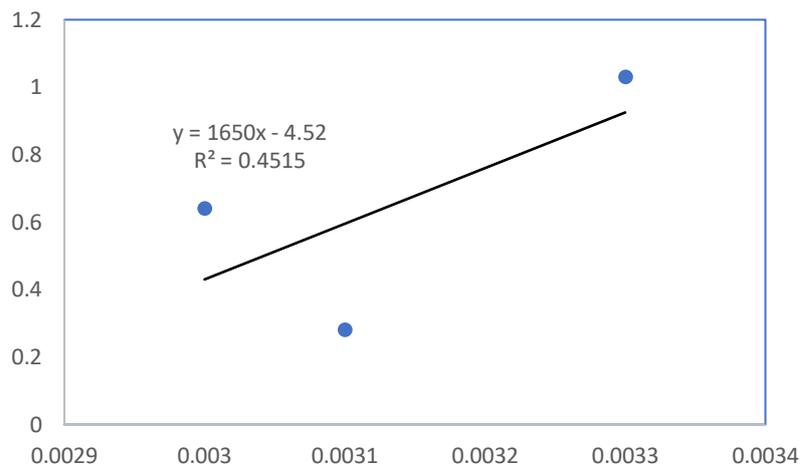


Figure 3.37 : Forme linéaire de la thermodynamique d'adsorption du DAB

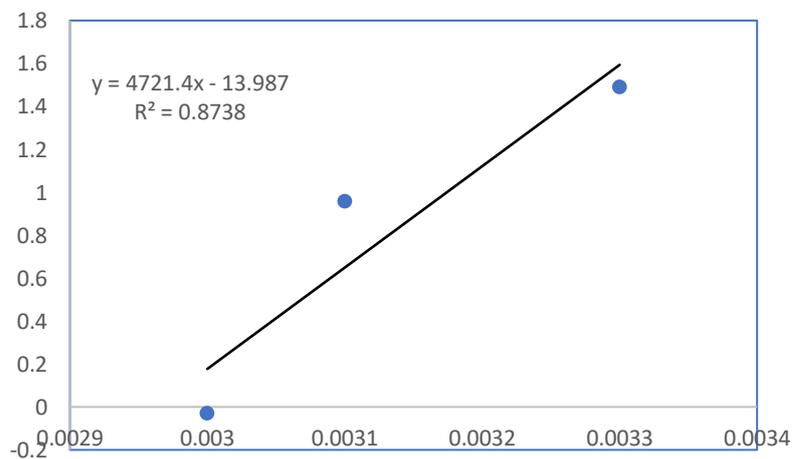


Figure 3.38 : forme linéaire de la thermodynamique d'adsorption du DAL

Tableau 3.10 : Les paramètres thermodynamique expérimentaux de l'adsorption du bleu de méthylène sur le déchet avicole (brut et lavé).

Température (K)	ΔH° (KJ/mol)		ΔS° (KJ/mol.K)		ΔG° (KJ/mol)	
	DAB	DAL	DAB	DAL	DAB	DAL
298	-13.71	-39.253	-0.03	-0.11	-2.55	-3.691
313					-1.66	-2.50
333					-0.77	0.08

Les résultats obtenus en appliquant l'équation 3.10 de la thermodynamique pour l'adsorption du bleu de méthylène sur les déchets avicoles (bruts et lavés) sont réunies au tableau 3.10. La variation de $\ln q_e / C_e$ en fonction de $1/T$ (**figure 3.29 et 3.30** avec un coefficient de corrélation linéaire $R^2=0.452$ et 0.874) nous a permis de déduire les grandeurs thermodynamiques relatives aux systèmes adsorbant-adsorbé étudiés (tableau 3.10). La valeur de ΔG° est **négalif** à toutes les températures étudiées, ce qui indique que le processus d'adsorption est faisable thermodynamiquement et spontané. Il est **exothermique** en raison de la valeur négative de l'enthalpie ΔH° , la **physiorption** peut être considérée comme le type d'adsorption prédominant parce que $\Delta H^\circ < 40$ kJ/mol cela confirme le résultat trouvé dans l'isotherme de Freundlich $n > 1$. [8]. Les valeur **négalif** (**-0.03, -0.11**) de ΔS° indique **probablement** que lors de l'adsorption du bleu du méthylène sur ces matériaux il y a diminution voire absence du désordre à l'interface du système solide/solution.

3.6 Application au traitement des lixiviats

Suite aux résultats très encourageants trouvés concernant les propriétés absorbantes de notre déchet, on a voulu alors appliquer notre adsorbant aux traitements des eaux usées et en particulier aux lixiviats.

En effet, pour mettre en évidence le pouvoir adsorbant de notre déchet on a suivi l'évolution de la DCO dans un échantillon de lixiviat issu du CET de corso dans les conditions optimisées. Les résultats sont donnés au tableau 3.11

Tableaux 3.11 : Résultats de la DCO du traitement du lixiviat par adsorption sur déchet avicole brut.

	DCO (mg d'O ₂ /l)	Rendement d'élimination (%)	Conditions opératoires
Avant adsorption	31 250	45.6	Mo=25mg ; Vlix=50ml ; pH =7 ; temps = 45mn
Après adsorption	17 000		

On remarque que la DCO du lixiviat brut et sans aucun prétraitement a diminué chuter de 45.6% après traitement par adsorption sur un déchet avicole brut sans prétraitement et sans activation au préalable.

Sachant que la norme de rejet des eaux de lixiviats dans une station de traitement des eaux usées est de 10000 mg d'O₂ /l, la valeur de DCO trouvée dans cette étude n'est pas très loin de la norme recommandée et donc notre adsorbant est très prometteur.

3.7 Conclusion

Les résultats de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur le déchet avicole ont montré que sa rétention est rapide dans le cas du déchet brut par rapport au déchet lavé. Le pH initial et la température ambiante donnent des pourcentages importants de la rétention du colorant. Le modèle de Langmuir décrit mieux le phénomène d'adsorption du Bleu de Méthylène sur le déchet. A partir de ce modèle on peut déduire aussi que l'isotherme est favorable et que notre adsorption est une physisorption et que le processus d'adsorption est exothermique

3.8 Bibliographie

[1] : Yann, Rogaume. 2005. « Production de chaleur à partir du bois Combustible et appareillage ». Techniques de l'ingénieur Chaudières et fours industriels, vol. base documentaire : TIB209DUO, no ref. article : be8747.

[2] : B.H. Hameed, Evaluation of papaya seed as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue, J. Hazard. Mater. 162 (2010) 939-994.

[3] : T. TEISSIER, N. MADET ; << Spectrophotomètre infrarouge >> ; paris (2003/2004).

[4] : E. Erdem, N. Karapinar, R. Donat, “The removal of heavy metal cations by natural Zeolites”, Journal of Colloid and Interface Science 280 (2004) 309–314.

[5] : Desjardins, Araymond. 1997. *Le traitement des eaux*. Montréal : Presses Internationales Polytechnique, 305 p.

[6] : BOULAAJOUL Soumia, « Etude cinétique de l'adsorption statique du 4-Nitrophénol sur charbon actif commercial (NC60) », Mémoire MASTER ACADEMIQUE, université de ouargla, 2013.

[7] : Mohamed LAABD, Abdelhadi EL JAOUHARI « Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants monoazoïques sur la polyaniline », *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (4) (2015)

[8] : Semari Asma. Tourech Amina ; « Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur différents matériaux en milieu aqueux » ; mémoire master ; université oum el bouaki ; 2015.

CONCLUSION

GENERAL

Conclusion Générale

L'agriculture est la principale source de revenu et d'emploi pour 70 % de la population mondiale pauvre et vivant en zones rurales.

La production animale fait partie intégrante de l'agriculture et du développement rural et durable. Elle joue un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire, la conservation de la biodiversité et des ressources naturelles.

Toutefois, une mauvaise gestion ou de transformation des produits d'élevage risque de nuire à l'environnement et à la santé par la pollution due aux déchets animaux. Les déjections animales sont souvent considérées comme une contrainte ou un sous-produit (épandage).

Notre étude est de proposer une issue aux problèmes des déchets des fientes de poulets de chair, par leur valorisation en un bio adsorbant. Cette expérimentation a été menée au laboratoire du tronc commun de la faculté des sciences, Université M'Hamed Bouguera Boumerdes.

Nous avons étudié l'adsorption du bleu de méthylène sur le biosorbant (déjections avicoles bruts et lavés ainsi que la sciure de bois), afin d'évaluer la capacité d'adsorption de ce solide, dans le but de le valoriser en tant que adsorbant potentiel pour la décoloration des eaux usées.

La partie expérimentale a été entamée par la détermination des paramètres physicochimiques (Humidité et taux de cendre) puis par une analyse structurale.

Les résultats de l'étude des propriétés physicochimiques et structurales des trois adsorbants (déchet brut, lavé et sciure) nous conduisent à établir les remarques suivantes :

- Les trois adsorbants (déchet brut, lavé et sciure) sont fortement hygroscopiques (taux d'humidité élevé)
- Le déchet avicole brut a une surface spécifique assez élevée contrairement lorsqu'il est lavé et contrairement à la sciure de bois.
- L'examen des résultats de la fluorescence des rayons X a montré que nos matériaux renferment des concentrations élevées en matières minérales : Al, Si, P, S, Cl, K, Ca et Fe.
- L'analyse spectroscopique infrarouge a permis l'identification des groupements fonctionnels constituant le déchet avicole avant et après lavage et la sciure lavée, les principaux groupements sont les groupements carboxyles, groupements amines, des phosphates et des sulfates pour les déchets et pour le cas de la sciure on trouve les groupements hydroxyles, amines et des polysaccharides, responsables de la fixation des colorants cationique tel le bleu de méthylène.
- L'analyse au microscope électronique a montré que les trois matériaux présentent une structure hétérogène.
- L'analyse élémentaire par EDX montre que le carbone et l'oxygène se trouve en grande concentrations dans nos matériaux.

Les essais d'adsorption du BM en mode batch nous ont permis de constater que la capacité d'adsorption est influencée par divers paramètres liés au milieu et au couple

Conclusion Générale

adsorbat/adsorbant. L'étude de l'équilibre d'adsorption a été examinée en faisant varier le pH, la T°, la concentration de l'adsorbant et la masse de l'adsorbant.

Les résultats obtenus relatifs à la cinétique, la thermodynamique et les isothermes d'adsorption ont été exploités pour éclaircir le mode de fixation du colorant sur l'adsorbant.

L'étude de l'influence des différents paramètres expérimentaux sur l'adsorption du bleu de méthylène par les déchets avicole lavé et brut ont montré que :

- Le déchet avicole brut atteint l'équilibre avant le déchet avicole lavé
- Le rendement d'adsorption diminue avec l'augmentation de la concentration initiale ou du volume de la solution du bleu de méthylène.
- L'adsorption est plus favorisée en milieu neutre et le taux d'adsorption diminue lorsque le pH devient très acide ou très basique.
- La présence de la sciure de bois avec le déchet avicole diminue le rendement d'adsorption que ce soit lavé ou brut
- La cinétique d'adsorption suit le modèle cinétique du pseudo-second ordre. Par ailleurs, la diffusion intraparticulaire semble être une étape non négligeable dans le processus de l'adsorption,
- Le modèle de Langmuir exprime mieux le type d'adsorption; les molécules du colorant sont alors adsorbées en monocouches, sans qu'il y ait d'interactions colorant-adsorbant, ce qui fait augmenter l'ordre de leur distribution sur la surface du bio-adsorbant.
- L'adsorption n'est pas favorisée avec l'augmentation de la température donc elle est de nature exothermique et le type d'adsorption prédominant est la physisorption.
- Les valeurs négatives des trois paramètres thermodynamiques indiquent que la réaction est spontanée, exothermique et que l'ordre de distribution des molécules du colorant sur la surface du déchet augmente par rapport à celui dans la solution.
- Les résultats obtenus avec le milieu synthétique (bleu de méthylène) nous a mené à traiter par adsorption en mode batch un effluent réel (lixiviat) provenant du CET de corso en suivant l'évolution de la DCO, le taux d'élimination était de 45.6% .

Les résultats obtenus lors de cette étude à l'échelle laboratoire confirme l'intérêt technique et économique du procédé d'adsorption sur des déchets qui sont disponibles et presque gratuits et donc par un procédé simple à mettre en œuvre on peut traiter des effluents très dangereux tel que les lixiviat avec ou sans prétraitement au préalable.

A l'issue de cette étude, nous pouvons émettre quelques suggestions telles que :

- Connaître la morphologie et la dimension des pores du matériau.
- Caractériser ces déchets par une analyse des protéines.
- Appliquer des adsorbants dans l'élimination des métaux lourds.
- Tester l'efficacité de ces matériaux dans des traitements de couplage physicochimique/biologique.

ANNEXE

1. Courbe d'étalonnage :

Tableau 1 : courbe d'étalonnage

[BM] mg/l	1	2	3	4	5
λ nm	0.207	0.41	0.505	0.716	0.865

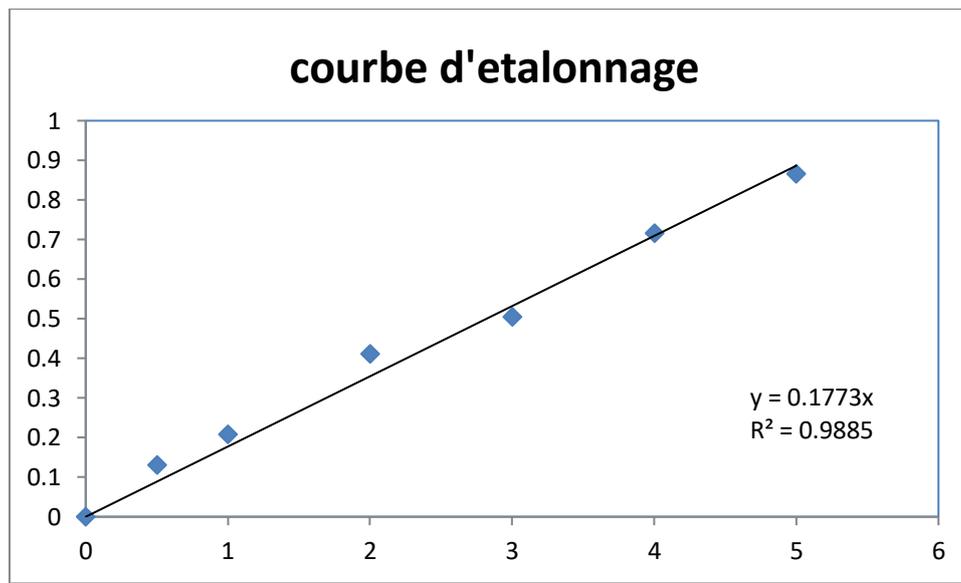


Figure : Courbe d'étalonnage du bleu de méthylène

y : Longueur d'onde/ absorption (λ en nm)

c : Concentration des nitrates ([BM] en mg/l)

$$y = 0,1773x$$

2. Les analyses chimiques et physique des adsorbants

❖ Principe de La spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR) :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par l'échantillon à analyser. Cet échantillon peut être à l'état gazeux, solide ou liquide. Elle permet via l'absorption des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, de déterminer la présence de certaines fonctions chimiques présentes dans la matière.

Le principe du FTIR repose sur l'absorption du rayonnement infrarouge lorsque la longueur d'onde (l'énergie) du faisceau est égale à l'énergie de vibration de la molécule. Le domaine infrarouge entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} ($2,5 - 25 \mu\text{m}$) correspond au domaine d'énergie de vibration de la plupart des molécules (infrarouge moyen). Cependant, certaines molécules ne

Annexe

donnent pas lieu à une absorption infrarouge, c'est le cas par exemple des molécules diatomiques homonucléaires (N₂, O₂, etc.) car leur moment dipolaire est nul. Il existe deux principaux types de vibrations : les élongations (stretching) le long de l'axe de la liaison, et les déformations (bending) occasionnant une modification de l'angle entre deux liaisons adjacentes, dans le plan ou hors du plan. Ces élongations et déformations peuvent être symétriques ou asymétriques [1].



Figure1 : FTIR utilisé au niveau du CRND

❖ Principe de l'analyse par fluorescence des rayons X (FX)

L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayons X. Sous l'effet de ces rayons X, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. L'état excité est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme de photons X notamment. Chaque atome, ayant une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propres. C'est le phénomène de fluorescence X qui est une émission secondaire de rayons X, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement X secondaire permet à la fois de connaître la nature des éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique [2].

❖ Principe de Détermination de la surface spécifique par la méthode BET

La surface spécifique représente la surface totale par unité de masse du produit accessible aux atomes et aux molécules. Il s'agit donc de considérer toute la surface de chaque particule, porosité ouverte comprise.

Le principe de la mesure repose sur les phénomènes d'adsorption et de désorption d'un gaz inerte (par exemple l'azote) sur des particules poreuses. Les différents procédés utilisant

Annexe

l'adsorption physique de gaz à basse température sont fondés sur les travaux de Brunauer, Emmett et Teller, plus connus généralement sous les initiales BET, et datant de 1938.

L'isotherme obtenue permet de calculer les différents paramètres caractérisant la surface d'une poudre. En effet, à partir du volume de gaz formant une couche monomoléculaire à la surface des particules, l'appareil calcule la surface spécifique d'un échantillon. La condensation capillaire donne accès à la détermination du volume des pores. [3].

❖ Principe de l'analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

Un faisceau électronique très fin (sonde) balaie point par point et ligne après ligne la surface de l'objet. Diverses interactions entre les électrons incidents (primaires) et la matière génèrent différents signaux dont certains (électroniques) sont utilisés pour construire des images et d'autres (RX) pour la micro-analyse chimique [4].

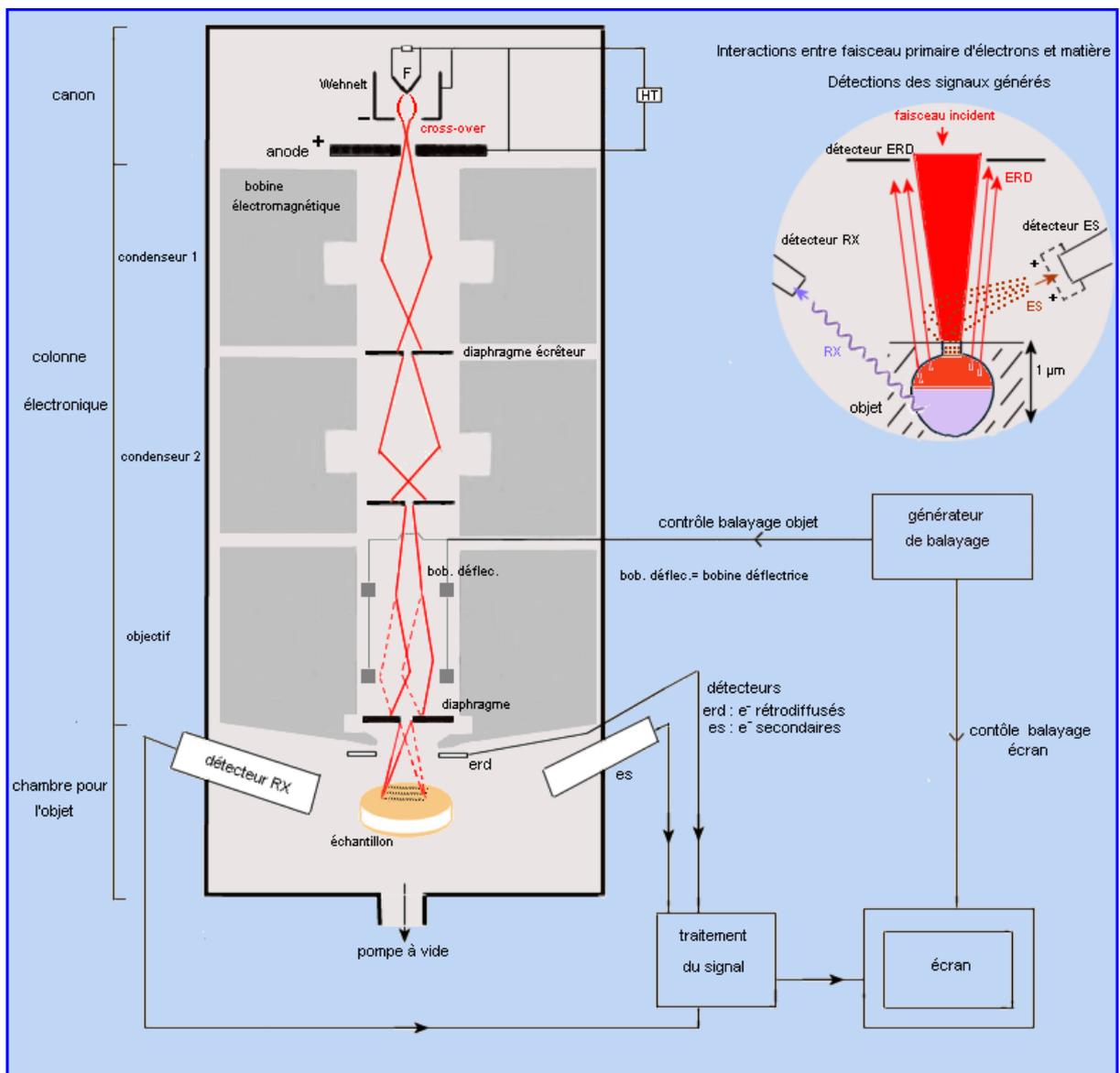


Figure 2 : Schéma qui montre le principe du MEB [4].

❖ Principe de la EDX

L'analyse dispersive en énergie EDX (**E**nergy **D**ispersive **X**-ray **s**pectrometry) permet d'obtenir une analyse quantitative ou qualitative, suivant les conditions, des éléments chimiques dans un échantillon solide et dans un volume micrométrique (une sphère de quelques centaines de nanomètres à quelques micromètres), en comptant le nombre de photons X émis par ce dernier pendant un temps déterminé quand il est bombardé par un faisceau d'électrons. [5].

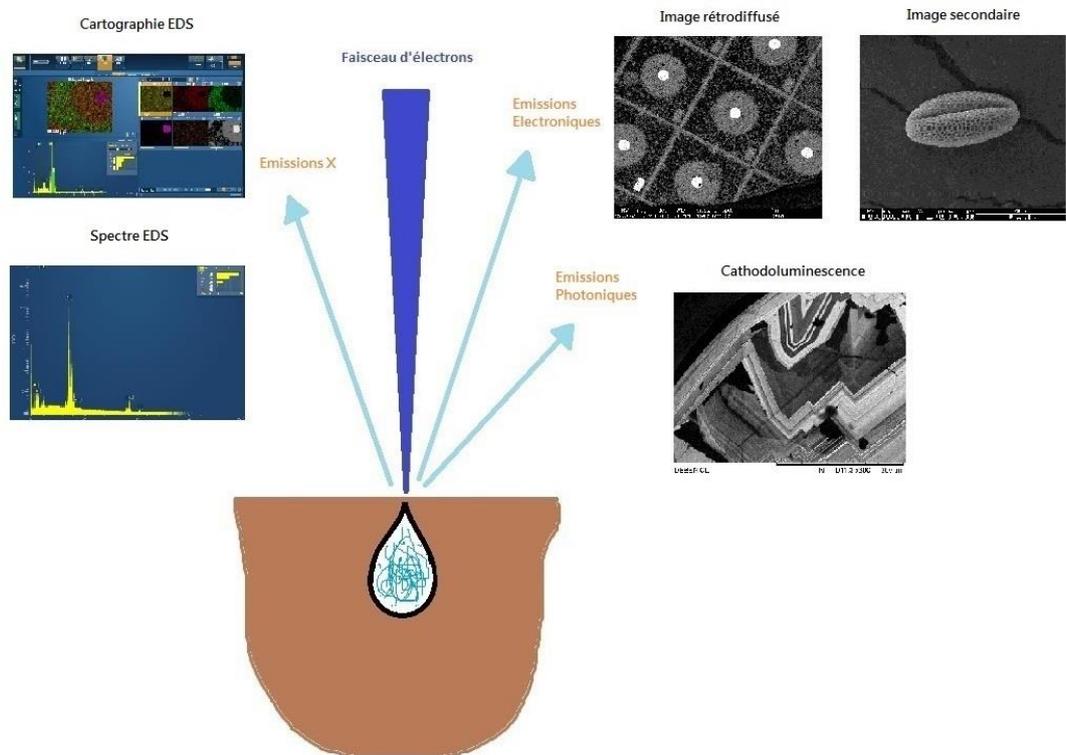


Figure3 : Schéma qui montre le principe du EDX [5].

Annexe

Références Bibliographique :

[1] Magamou GUEYE mémoire CARACTERISATION PAR INFRAROUGE A TRANSFORMEE DE FOURIER DES REACTIONS CHIMIQUES ENTRE POST-DECHARGES ET PRECURSEURS ORGANOSILICIES : CAS DU 3-AMINOPROPYLTRIETHOXYSILANE (APTES)

[2] : Valérie Thirion-Merle Analyses physico-chimique du laboratoire de Lyon hal.archives-ouvertes.fr

[3] : Linkilab analyse-de-la-surface-specifique-bet

[4] : Article Publié sur <http://jean-jacques.auclair.pagesperso-orange.fr/meb/meb.htm>

[5] : Microscopie électronique et analytique Université de Montpellier mea.edu.umontpellier

RÉSUMÉ

Résumé

Cette étude a été dédiée à étudier les propriétés et la capacité d'adsorption des déchets avicoles lavés et bruts ou mélangés avec de la sciure de bois non activée afin d'éliminer le bleu de méthylène des eaux usées. Les différentes techniques de caractérisation que nous avons utilisées (FTIR, MEB, BET, FX, EDX) et les tests d'adsorption du bleu de méthylène ont révélé que la présence de la sciure de bois avec le déchet avicole diminue le rendement d'adsorption que ce soit lavé ou brut, le déchet brut est plus rapide pour atteindre l'équilibre que le déchet lavé, Le pH initial et la température ambiante donnent des pourcentages importants de la rétention du colorant, Le modèle de Langmuir décrit mieux le phénomène d'adsorption du Bleu de Méthylène sur le déchet, La cinétique d'adsorption suit le modèle cinétique du pseudo-second ordre et que Le type d'adsorption prédominant est la physisorption.

Mot clés : pollution, Colorants, adsorption, Déchet Avicole.

المخلص

خصّصت هذه الدراسة لدراسة خصائص وقدرة الامتزاز لمخلفات الدواجن المغسولة والخام أو المخلوطة مع نشارة الخشب غير المنشطة من أجل إزالة الميثيلين الأزرق من مياه الصرف الصحي. تقنيات التوصيف المختلفة التي استخدمناها (FTIR, MEB, BET, FX, EDX) أظهرت اختبارات الامتصاص الأزرق الميثيلين أن وجود نشارة الخشب مع مخلفات الدواجن يقلل من إنتاجية الامتزاز سواء كانت مغسولة أو خامًا ، فإن مخلفات الدواجن الخام تصل إلى التوازن أسرع من مخلفات الدواجن المغسولة ، وتعطي درجة الحموضة الأولية ودرجة الحرارة المحيطة النسب المئوية الكبيرة للاحتفاظ بالصبغة ، يصف نموذج Langmuir بشكل أفضل ظاهرة الامتزاز الميثيلين الأزرق على مخلفات الدواجن ، وتتبع حركية الامتزاز النموذج الحركي من الدرجة الثانية الزائفة ونوع الامتزاز السائد هو التحلل.

الكلمات المفتاحية: التلوّث، صبغ، الامتزاز، مخلفات الدواجن

Abstract

This study was dedicated to studying the properties and adsorption capacity of washed and raw poultry waste or mixed with non-activated sawdust to remove methylene blue from wastewater. The different characterization techniques we used (FTIR, MEB, BET, FX, EDX) and methylene blue adsorption tests have shown that the presence of sawdust with poultry waste decreases the adsorption efficiency whether washed or raw, the raw waste is faster to achieve equilibrium than the washed waste, Initial pH and ambient temperature give important percentages of dye retention, The Langmuir model better describes the phenomenon of Methylene Blue adsorption on waste, Adsorption kinetics follows the kinetic model of the pseudo-second order and that the predominant type of adsorption is physisorption.

Keywords: Pollution, dye, adsorption, poultry waste.